

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium vlastností tenkého povlaku proti tepelnému

a mechanickému namáhání

Study of Properties Thin Coating Against Heat and Mechanical Straining

Student:

Bc. Jakub Hozík

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Podjuklová Jitka, CSc.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Hozík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Studium vlastností tenkého povlaku proti tepelnému a mechanickému namáhání
Study of Properties Thin Coating Against Heat and Mechanical Straining

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti tenkého transparentního povlaku a jeho odolnost proti tepelnému a mechanickému namáhání.
2. Prostudujte vhodnost aplikace povlaku na hliníkový substrát.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proved'te experimentální práce a výsledky zpracujte do závěrečné zprávy.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

ČSN EN ISO 12 944. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry

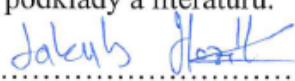


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě15.5. 2017.....

..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5.2017



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jakub Hozík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nemile 105

789 01 Zábřeh

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HOZÍK, J. *Studium vlastností tenkého povlaku proti tepelnému a mechanickému namáhání: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 76 s. Vedoucí práce: PODJUKLOVÁ, J.

Tato práce je rozdělena na dvě části a to na část teoretickou a část experimentální. Teoretická část začíná pojednáním o povrchu, jeho vlastnostech a způsobech poškození. Další část je věnována několika technologiím úprav povrchů. Dále je zde v krátkosti pojednáno o organických povlacích a také nanopovlacích a nanotechnologiích. V druhé, experimentální části je popsána metodika experimentálních prací. Jsou zde popsány všechny prováděné zkoušky a také například aplikace nátěrového systému. V poslední části práce jsou vyhodnoceny výsledky experimentálních prací včetně fotodokumentace.

ANNOTATION OF THESIS

HOZÍK, J. *Study of Properties Thin Coating Against Heat and Mechanical Straining: Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2017, 76 p. Thesis head: PODJUKLOVÁ, J.

This thesis is divided into two parts, the theoretical part and the experimental part. The theoretical part begins with a discussion of the surface, its properties and ways of damage. Another part is devoted to several surface treatment technologies. Furthermore, there are briefly discussed organic coatings as well as nanopowders and nanotechnologies. In the second, experimental part is described methodology of experimental work. All the tests performed, as well as application of the paint system, are described here. The last part of the thesis evaluates the results of experimental work including photodocumentation.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

mm	milimetr
μm	mikrometr
nm	nanometr
MPa	megapaskal
Ra	průměrná aritmetická úchylka profilu [μm]
Rz	maximální výška profilu [μm]
°C	stupně Celsia
N	newton
kg	kilogram
λc	filtr profilu
pH	stupnice kyselosti
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní norma

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 POVRCH A JEHO VLASTNOSTI	10
1.1 STRUKTURA POVRCHU	10
1.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI POVRCHU	14
1.3 GEOMTRICKÉ VLASTNOSTI POVRCHU	15
1.4 CHEMICKÉ VLASTNOSTI POVRCHŮ	15
1.5 POŠKOZENÍ POVRCHU	16
1.5.1 KOROZE.....	17
1.5.2 OPOTŘEBENÍ.....	20
2 ÚPRAVY POVRCHŮ PŘED APLIKACÍ POVLAKU	26
2.1 MECHANICKÉ ÚPRAVY POVRCHŮ	26
2.1.1 OTRYSKÁVÁNÍ.....	27
2.1.2 BROUŠENÍ.....	31
2.1.3 LEŠTĚNÍ.....	31
2.1.4 KARTÁČOVÁNÍ	31
2.1.5 OMÍLÁNÍ	32
2.2 CHEMICKÉ ÚPRAVY POVRCHŮ	32
2.2.1 ODMAŠŤOVÁNÍ.....	33
2.2.2 MOŘENÍ	34
3 ORGANICKÉ POVLAKY	35
3.1 SLOŽENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT	36
3.2 RODĚLENÍ A OZNAČOVÁNÍ NÁTĚROVÝCH HMOT.....	37
3.3 POŠKOZENÍ NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ	39
4 NANOTECHNOLOGIE A NANOPOVLAKY	40
4.1 NANOPOVLAKY	41
5 NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	42
6 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	43
6.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ	43
6.2 APLIKACE NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU.....	47
6.3 ZKOUŠENÍ TEPELNÉHO ZATÍŽENÍ A MECHANICKÉ ODOLNOSTI. 50	
6.4 ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI METODOU KŘÍŽOVÉHO ŘEZU	64

FOTODOKUMENTACE	68
ZÁVĚR	70
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72
SEZNAM OBRÁZKŮ	74
SEZNAM TABULEK.....	75
SEZNAM GRAFŮ	75

ÚVOD

Ochrana kovových materiálů proti korozi, případně dalším degradujícím vlivům má trvale velký význam. Snažíme se chránit materiály proti vlivům vnějšího prostředí. Tyto prostředí dělíme dle jejich agresivity a podle toho zvolíme vhodný ochranný nátěrový systém. Může však vyvstat situace, kdy výrobek, který chceme chránit, prochází několika prostředími o různých agresivitách. Například když je výrobek transportován, může procházet několika podnebnými pásmy a také klidně všemi různými prostředími o všech agresivitách. V takovýchto situacích může být výrobek vystaven různým teplotám a někdy i mechanickému namáhání. Například když jsou výrobky transportovány přes tropickou oblast, lze předpokládat, že se teplota v lodním kontejneru může vyšplhat klidně i přes 100°C. Také může dojít k pádu chybně uchycené součásti v důsledku nějakých otřesů, pak tedy hovoříme o mechanickém namáhání takového výrobku. Z těchto důvodů je důležitá ochrana výrobků během transportu.

Někdy je také žádoucí ochrana proti tepelnému i mechanickému namáhání i v provozu. Například u měděných drátů, které slouží k navíjení statorových svazků elektromotorů. Tyto dráty jsou již od dodavatele ošetřeny nějakým transparentním nátěrovým systémem, který musí odolat mechanickému namáhání při ohýbání, když je navíjen do svazku a potom také vysoké teplotě, která může uvnitř elektromotoru být i 150°C.

Jelikož v této oblasti materiálů chceme dosáhnout co nejlepších výsledků, jsou vyvíjeny stále nové nátěrové systémy. Tyto systémy jsou mimo jiné omezeny tím, že je kladen stále větší důraz na ochranu životního prostředí, takže nelze v takovém množství využívat některé látky jako dříve. V současnosti se stává velkým trendem oblast nanotechnologie, jejíž možnosti jsou hojně využívány i v oblasti ochrany nátěrovými systémy.

Na základě výše uvedených problémů diplomová práce řeší odolnost transportního transparentního vodou ředitelného laku s obsahem nanočástic proti mechanickému i tepelnému namáhání. Ochrana proti těmto druhům poškození je neméně důležitá jako ochrana proti korozi, protože s těmito druhy poškození se můžeme setkat prakticky všude a prakticky pořád.

1 POVRCH A JEHO VLASTNOSTI

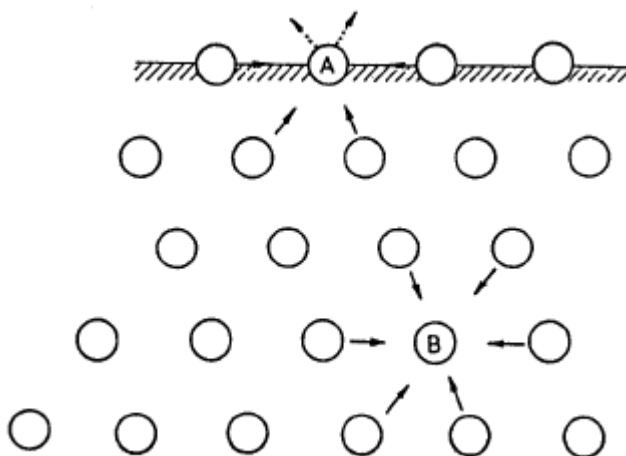
Povrch materiálu uvažujeme obecně rozhraní dvou rozdílných fází. Za pomoci ochranných vrstev nanášených na povrch můžeme zajistit kvalitní ochranu povrchu materiálu proti negativním vnějším vlivům nebo požadované vzhledové vlastnosti. Z tohoto důvodu se musíme zabývat vlastnostmi povrchu z mnoha různých úhlů pohledu. Jedním z pohledů by mohla být struktura povrchu ovlivněná charakterem výroby. Lze ji popsat například drsností povrchu, tvrdostí povrchu nebo makroskopickou strukturou. Velmi důležitá je také čistota daného povrchu, která ovlivňuje interakce s okolním prostředím. Na základě čistoty povrchu rozeznáváme technicky čistý a fyzikálně čistý povrch. Technicky čistý povrch je na pohled čistý a vykazuje dobré vlastnosti pro další operace. Fyzikálně čistý povrch je charakterizován jako fyzikálně čistý kov bez interakcí s jiným prostředím. Velmi často pomocí fyzikálně čistého povrchu popisujeme reálný povrch tím, že porovnáváme vlastnosti těchto povrchů. [1]

Velice často je povrch jen jakýmsi prostředníkem působení vnějšího prostředí na materiál ve větších hloubkách, je tedy nutné zabývat se také změnami materiálu pod povrchem. [1]

1.1 STRUKTURA POVRCHU

Volným povrchem kovů rozumíme zpravidla povrch velkého souboru zrn, tvořících rozhraní mezi pevnou fází a okolním prostředím. Povrch takového tělesa je velmi složitý systém, i když se jedná o chemicky čistý kov. Můžeme říct, že nejjednodušší je situace u monokrystalů, jejichž hraniční roviny jsou určeny typem krystalické mřížky a jejich orientací. I u monokrystalů však při podrobném zkoumání zjistíme, že žádná krystalografická rovina není v atomárních rozměrech dokonale geometricky hladká, uvažujeme-li uspořádání atomů v dané rovině, její plošnou hustotu a přítomnost jen rovnovážných bodových poruch. Reakce povrchu s plyny je tedy ovlivněna typem materiálu a charakterem mřížkové roviny, to znamená, že u jednoho druhu kovu mohou být různé druhy interakcí. [1]

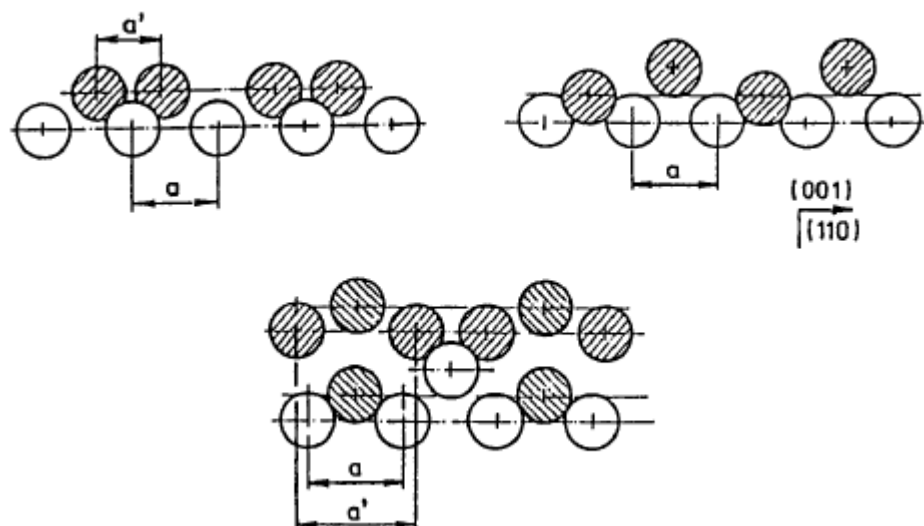
Jednou ze základních vlastností každého povrchu pevné fáze je skoková změna symetrie sil, působících na jádra atomů krystalové mřížky. Na povrchu materiálu nejsou tyto síly vyrovnány v důsledku oddělení atomů povrchové vrstvy, zatímco uvnitř materiálu jsou tyto síly ve všech směrech v rovnováze, viz obrázek 1. [1]



Obr. 1 - Schéma sil působících na atom [1]

V důsledku působení těchto sil můžeme pozorovat následující úkazy:

- Relaxace povrchu – vzdálenost povrchové vrstvy od zbytku krystalu je rozdílná než vzdálenost rovnoběžných rovin ekvivalentních k rovině povrchové uvnitř materiálu. Uvádíme v procentech změny mezirovinné vzdálenosti. [1]
- Rekonstrukce povrchu – uspořádání atomů v povrchové rovině je odlišné, v porovnání s rovinou ekvivalentní uvnitř materiálu. To má za důsledek nestabilitu krystalové plochy v povrchu. Příklady rekonstrukce povrchu můžeme vidět na obrázku číslo 2. [1]



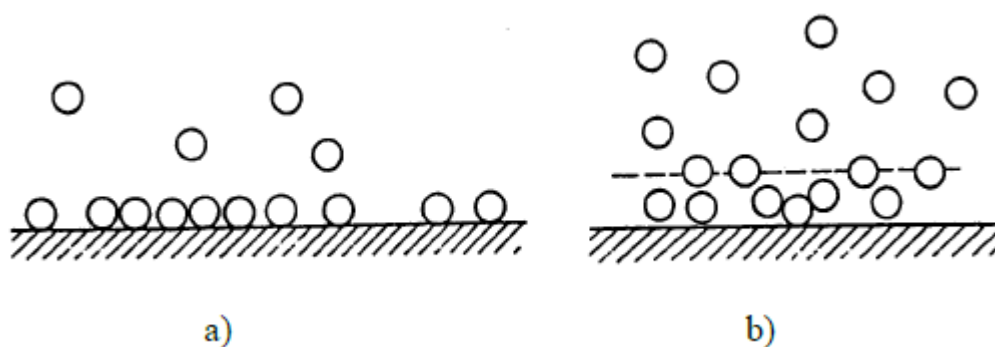
Obr. 2 - příklady rekonstrukce povrchu [1]

- Nerovinnost povrchové vrstvy - povrchová vrstva má tendenci vytvářet soustavy nových stabilnějších mikroplošek. [1]

- Neúplné nasycení povrchových vazeb – v důsledku toho dochází k vytváření silového pole, které vede k hromadění molekul plynu v blízkosti povrchu tedy k adsorpci. [1]

Rozlišujeme dva základní druhy adsorpce a to fyzikální a chemickou tak zvanou chemisorpci.

- Chemisorpce – adsorbované molekuly jsou k povrchu vázány chemickou vazbou, sdílením nebo přenosem elektronu. [1]
- Fyzikální adsorpce – zde jsou vazby zajištěny silami podobnými silám při kondenzaci plynů. Tyto síly nazýváme Van der Waalsovy síly. Fyzikální adsorpce probíhá zpravidla za nižších teplot. Vyznačuje se nižší energií vazby než u chemisorpce. [1]

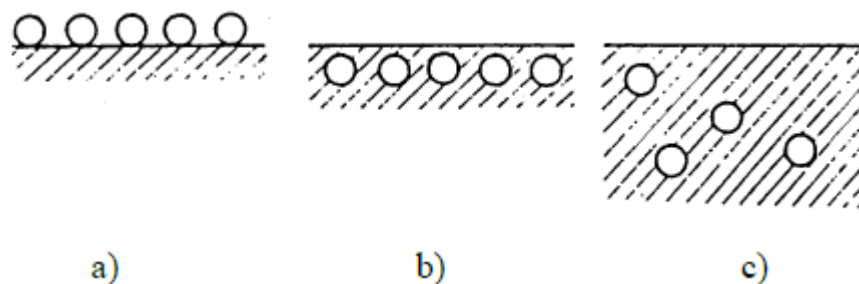


Obr. 3 - Schéma chemisorpce a), a fyzikální adsorpce b) [1]

Proces adsorpce je ve většině případů proces exotermní, pohyb molekul je redukován na pohyb rovinný namísto prostorového v důsledku čehož se mění i entropie celého systému. Experimentálně lze tato tepla měřit. Při interakci plynů a pevných látek lze pozorovat další jevy:

- Inkorporace – pronikání částic adsorbované látky do povrchové vrstvy. [1]
- Absorpce – pronikání částic absorbátu do větších hloubek, až do úplného rozpuštění v celé hmotě absorbentu. [1]
- Vytvoření jedné vrstvy adsorbovaných částic – tuto vrstvu nazýváme monomolekulární vrstva a je typickým projevem chemisorpce. [1]
- Vytvoření více vrstev adsorbovaných částic – tzv. polymolekulární adsorpce je typická pro fyzikální adsorpci. [1]

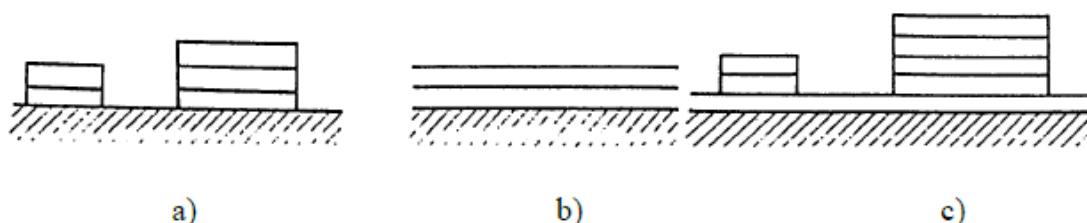
Názorné umístění částic u jednotlivých výše popsaných jevů jsou vyobrazeny na obrázku číslo 4.



Obr. 4 - a) chemisorpce, b) inkorporace, c) absorpce

Růst jednotlivých vrstev na povrchu je řízen různými mechanismy růstu:

- Volmerův-Weberův mechanismus – VW mechanismus – růst jednotlivých ostrůvků, které mají více vrstev, znázorněno na obr. 5 a). [1]
- Frankův-Van der Merwův mechanismus – FM mechanismus – postupný vznik úplných monovrstev, názorně zobrazeno na obr. 5 b). [1]
- Stranskiho-Krastanův mechanismus – SK mechanismus – jedná se o jakousi kombinaci dvou předešlých mechanismů, teprve až po kompletním vytvoření první monovrstvy se začnou vytvářet vícevrstvé ostrůvky, obr. 5 c). [1]



Obr. 5 - a) VW mechanismus, b) FM mechanismus, c) SK mechanismus [1]

Při interakci molekul plynů s povrchy dochází ke změnám nejen v povrchové vrstvě, ale i v molekulách adsorbovaných plynů. Při chemisorpci je velmi častým jevem velmi silné narušení zachycených molekul, které často končí jejich rozpadem tzv. disociací, takže chemisorbovaná vrstva je pak tvořena fragmenty absorbátu, které jsou chemicky vázané k povrchu adsorbentu. Abychom mohli hovořit o chemické sloučenině na povrchu krystalu kovu, je zapotřebí určité strukturní uspořádání této sloučeniny. Není možné, aby chemisorpce proběhla v jakémkoli libovolném místě povrchu krystalu kovu, ale třeba nad jedním povrchovým atomem nebo v můstkové pozici nad dvěma povrchovými atomy adsorbentu – tedy jen na určitých adsorpčních místech. Tento jev nazýváme lokalizovaná adsorpce. V ideálním případě, když jsou adsorpční místa navzájem ekvivalentní, nazýváme tento povrch homogenní, když tomu tak není, pak se jedná o povrchy heterogenní (reálné povrchy). [1]

1.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI POVRCHU

Jedna z typických fyzikálních vlastností povrchu kovu je jeho emise, tedy schopnost uvolňovat za určitých podmínek z povrchu kovu elektrony. Tato schopnost je podmíněna buď ohřevem na vysokou teplotu, nebo vnějším dopadem elektronu. Podle dodané energie hovoříme o emisi tepelné nebo sekundární. K uvolnění elektronu z Fermiho hladiny je potřeba dodat výstupní práci, obecně platí, že čím těsnější je uspořádání krystalické mřížky, tím je potřeba dodat větší množství práce. Ulpělé nečistoty a adsorbované plyny mají poměrně značný vliv na emisní vlastnosti. Aplikací speciálních adsorpčních nátěrů můžeme emisní vlastnosti materiálu zvýšit. Tyto vrstvy snižují výstupní práci a vytváří na povrchu příznivé elektrické pole. [1], [2]

Po dopadu elektromagnetického vlnění na povrch kovu se energie rozdělí na tři složky, na energii pohlcenou, odraženou a energii, která tělesem projde. Na základě velikosti těchto složek potom hodnotíme poměrnou propustnost – τ , poměrnou odrazivost – ρ a poměrnou pohltivost – α . Vzhledem k velmi malé části elektromagnetického vlnění, které projde tělesem, tuto složku, kterou můžeme označit jako propustnost, zanedbáváme. Poměr ρ/α je výrazně ovlivněn jak délkou vlny, tak i charakteristikou daného materiálu a drsností povrchu tělesa. Dokonalého odrazu vlnění můžeme dosáhnout pouze na opticky hladkých kovových plochách, tedy na plochách, jejichž nerovnosti jsou alespoň o řád menší než nejkratší uvažovaná vlnová délka. [1] [2]

Další z důležitých fyzikálních vlastností jsou elektrické vlastnosti, které jsou určeny elektronovým stavem. Navzdory teoretickým modelům se na reálném povrchu vyskytují nejen změny potenciálů a vazebných sil, které mají za následek změnu energetických stavů a elektronových stavů, ale i změny v chemickém složení, struktuře krystalické mřížky a adsorbované vrstvy. Tyto všechny aspekty mají zásadní vliv na elektrické vlastnosti povrchů, kterými se musíme zvláště zabývat u polovodičů. [1] [2]

V momentě spínání a vypínání kontaktů vznikají mezi kontakty elektrické výboje, které svým působením porušují povrch kontaktů. Podle velikosti napětí dělíme výboje na:

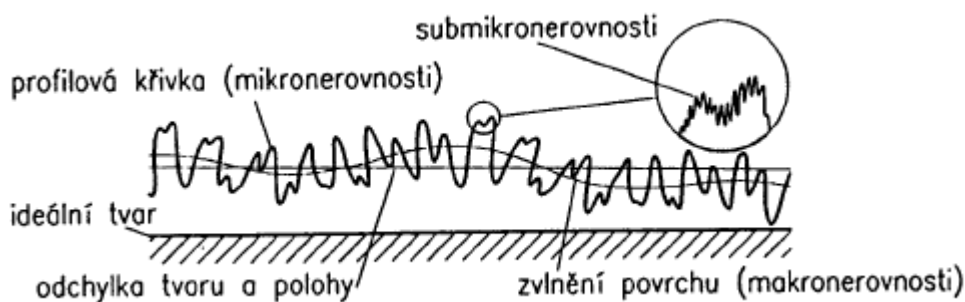
- Obloukový – 10 – 20 V
- Doutnavý – 10^2 – 10^3 V

Působení těchto výbojů má za následek opalování kontaktů a také zvýšení adheze a přenos materiálových složek kontaktů z jednoho na druhý. Při vysokém proudovém zatížení kontaktů může dojít k nárůstu adheze natolik, že se jednotlivé kontakty svaří. [1] [2]

1.3 GEOMETRICKÉ VLASTNOSTI POVRCHU

Geometrické vlastnosti povrchu mají v mnoha případech zásadní vliv na funkčnost dané součásti. Jako příklad bychom mohli uvést součásti pro použití v optice. Za předpokladu, že nemůžeme ani povrch monokrystalu s úplnými atomovými rovinami považovat za dokonale rovný, jistě si potom dokážeme představit o kolik větší rozdíly budou u materiálu polykrystalického, který je ještě navíc velmi rychle pokrýván vrstvami o jiném složení, vlastnostech i struktuře, zejména se jedná o oxidické vrstvy. Odchytky od ideální rovinnosti mohou vzniknout již při přípravě povrchu nebo samotné výrobě součásti. Také ovšem mohou vzniknout působením vnějších sil nebo okolního prostředí. [1] [2]

Charakter výsledného povrchu daného materiálu je ovlivněn použitou technologií, ale i strojem a nástrojem. Při třískovém obrábění vznikají v důsledku vzájemného pohybu nástroje a obrobku charakteristické nerovnosti, které nazýváme mikronerovnosti. Zvlnění povrchu v důsledku opracování nazýváme makronerovnosti. [2]



Obr. 6 - profil povrchu [1]

1.4 CHEMICKÉ VLASTNOSTI POVRCHŮ

Povrch materiálu není v celé své ploše chemicky stejný, takže různá místa povrchu mají jinou náchylnost k tvorbě chemických sloučenin nebo ke změnám oxidačních stavů. Jelikož zde mluvíme hlavně o povrchu pevných látek, jde tedy změny na rozhraní s plynným nebo kapalným prostředím. Na rozhraní s plynným prostředím jsou základem změny oxidačních stavů fyzikální adsorpce a chemisorpce.[1]

Základem těchto změn je kombinace dějů anodické oxidace a katodické redukce. V podstatě se jedná o rozpouštění kovů a redukce kyslíku nebo vylučování vodíku. Anodické rozpouštění kovů se projeví ionizací atomů kovů na povrchu materiálu, které pak přecházejí do elektrolytu. Schopnost materiálu uvolňovat elektrony do elektricky vodivého prostředí je podmíněna jeho elektrochemickým potenciálem, což je v podstatě ušlechtilost daného materiálu. Čím vyšší elektrochemický potenciál, tím je materiál ušlechtlejší, tedy

v kontaktu s ním se budou rozpouštět méně ušlechtilé materiály. Na stupnici potenciálů má vodík potenciál 0. Většina materiálů má potenciál záporný, kladný mají jen ty nejušlechtilejší materiály.

Tabulka 1 – Standardní elektrodové potenciály některých kovů [1]

kov	Potenciál E_0 [V]	kov	Potenciál E_0 [V]
Sodík	-2,71	Cín	-0,14
Hořčík	-2,34	Olovo	-0,12
Hliník	-1,33	Vodík	0,00
Zinek	-0,76	Antimon	+0,20
Chrom	-0,56	Měď	+0,34
Železo	-0,44	Stříbro	+0,80
Kadmium	-0,40	Rtuť	+0,86
Kobalt	-0,28	Zlato	+1,36
Nikl	-0,23		

1.5 POŠKOZENÍ POVRCHU

Kovové i nekovové materiály musí mimo mechanické namáhání odolat také vnějším vlivům agresivního prostředí. Jejich odolnost je určena druhem materiálu, tloušťkou materiálu, jakostí spojů, pnutím nebo způsobem namáhání. Protože chceme dosáhnout co největší spolehlivosti, použitelnosti a také životnosti některých důležitých součástí, od nichž se pak odvíjejí vlastnosti celé konstrukce, snažíme se jejich odolnost vůči poškození různými způsoby zvyšovat. Jedním z nejčastějších a nejjednodušších způsobů ochrany je aplikace další ochranné vrstvy na povrch materiálu, díky které materiál získá lepší odolnost vůči okolnímu prostředí. [1] [3]

V podstatě rozlišujeme dva druhy poškození povrchu:

- Koroze – chemické poškození povrchu
- Opotřebenění – mechanické poškození povrchu [1]

1.5.1 KOROZE

V odborné literatuře je koroze definována jako samovolně probíhající nevratný proces postupného narušování a znehodnocování povrchu materiálu vlivem fyzikálně-chemických a chemických dějů v prostředí, které mají za následek částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Poškození korozí nehrozí jen u kovů a jejich slitin, ale i u anorganických materiálů, jako například sklo nebo beton, a také organických materiálů jako například guma a plasty. Projevy korozního napadení mohou být různé, od pouhých vizuálních změn (snížení lesku, ztráta barvy), až po úplný rozpad v celém průřezu materiálu. Příčinou samovolného korozního napadení je, že systém materiál a okolní prostředí směřují k co nejuspořádanějšímu stavu, tedy stavu s co nejmenší volnou entalpií. Některé korozní děje jsou také ovlivňovány působením dalších vlivů prostředí, mezi které patří mechanické namáhání, elektrický proud, radiace nebo vliv mikrobů v prostředí. [1] [3]

V zásadě korozi rozdělujeme podle dvou kritérií, a to podle mechanismu a podle prostředí ve kterém se koroze vyskytuje.

Podle mechanismu dělíme korozi na:

- Koroze chemickou – probíhá v plynech o oxidačním či redukčním charakteru, nebo organických tekutin bez vody, typický je pro ni vznik korozních produktů na povrchu materiálu. [3]
- Koroze elektrochemickou – tento typ koroze je podmíněn přítomností elektricky vodivého prostředí tzv. elektrolytu, což jsou roztoky kyselin, zásad a solí ve vodě, dále se dělí na anodickou a katodickou. [3]

Podle prostředí dělíme korozi na:

- V atmosféře – nejrozšířenější forma koroze (cca 60%), zásadní je pro ni stupeň ovlhčení povrchu, který ovlivní rychlost koroze.
- V půdě – zvláštní případ koroze v elektrolytu, protože půda je tvořena všemi třemi fázemi (plyn, kapalina, pevná fáze).
- V plynech – působením plynného prostředí vznikají chemické sloučeniny, jde převážně o chemické děje v elektricky nevodivém prostředí.
- Ve vodě – ve vodě jsou často rozpuštěné jiné chemické látky, kyselé i zásadité, takže tento druh koroze je v podstatě chemický vliv tohoto prostředí doprovázený často neelektro-chemickými ději jako mechanické poškození nečistotami, kavitace nebo vliv mikroorganismů. [3]

Tak jako koroze zásadním způsobem ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálů, tak také mechanické namáhání ovlivňuje mechanismus koroze. V zásadě se koroze podmíněná mechanickým namáháním dělí na tři základní typy:

- Korozní praskání
- Korozní únava
- Vibrační koroze. [1]

Korozní praskání

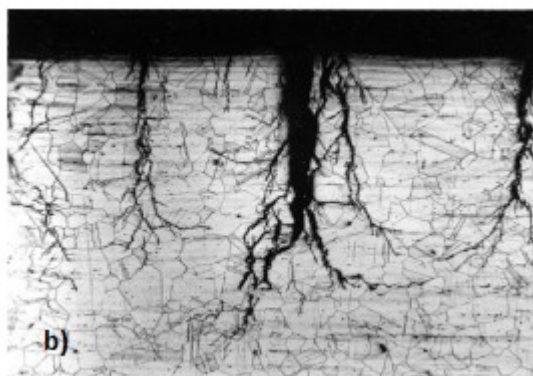
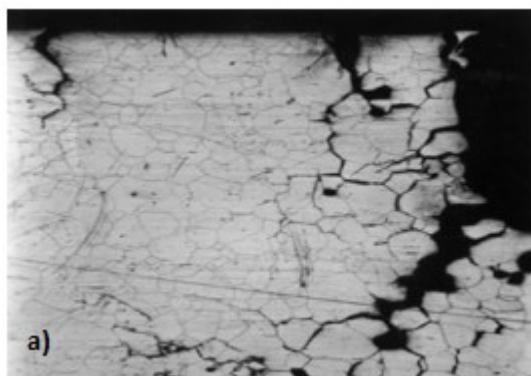
Korozní praskání je podmíněno současným působením napětí a korozního účinku prostředí. Jedná se o jev, kdy dochází k porušení materiálu za napětí nižších, než je mez pevnosti nebo mez kluzu. Trhliny vznikají převážně v kolmém směru k tahovému napětí. Čelo trhliny pak slouží jako koncentrátor napětí. Ke vzniku korozního praskání není vždy nutné působení vnějšího napětí, ale stačí vnitřní pnutí v materiálu. Náchylnost ke koroznímu praskání je menší, čím je materiál homogennější. [1] [4]

Pro vznik korozního praskání musí být splněny tři následující podmínky:

- Náchylnost materiálu ke koroznímu praskání – nečistoty
- Působení specifického korozního prostředí
- Přítomnost tahových napětí. [4]

Podle způsobu šíření trhlin dělíme korozní praskání na tři typy:

- Transkrystalické
- Interkrystalické
- Smíšené. [4]

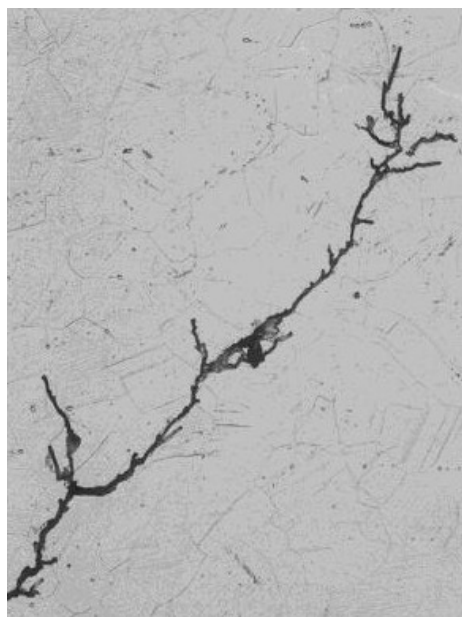


Obr. 7 - a) interkrystalické, b) transkrystalické korozní praskání [4]

Ochrana proti koroznímu praskání se provádí snížením napětí v materiálu nebo na celou konstrukci, případně volbou vhodnějšího materiálu. Pozitivní účinek může mít také přidání inhibitorů koroze. [4]

Korozní únava

Korozní únava, podobně jako korozní praskání, je podmíněna přítomností jak napětí tak i korozně agresivního prostředí. Pouze napětí zde bude jiného charakteru. Na rozdíl od korozního praskání se zde jedná o cyklické namáhání. Při cyklickém zatížení nad mezí únavy může dojít ke vzniku trhlin i bez působení agresivního prostředí. Trhliny jsou při tomto druhu namáhání zpravidla transkrystalické a mají tupé čelo. Velký vliv na rychlost šíření trhliny má frekvence zatěžování, čím je frekvence nižší, tím je větší nárůst délky trhliny na jeden cyklus. Podobně jako u korozního praskání se trhlina šíří z míst kde jsou přítomné nehomogenity v materiálu (nečistoty, vruby, hranice zrn). Lom je potom pokryt korozními produkty. Účinnou ochranou proti korozní únavě je odstranění cyklického namáhání, snížení amplitudy zatížení, volba jiného odolnějšího materiálu, úprava korozní agresivity prostředí použitím inhibitorů koroze nebo použití ochranných anorganických povlaků. [1] [4]



Obr. 8 - Korozní únava [5]

Vibrační koroze

K tomuto druhu koroze dochází na plochách, které se navzájem dotýkají, a zároveň konají kmitavý pohyb o velmi malé amplitudě. Tento druh koroze se může vyskytnout i za nízké relativní vlhkosti, kdy je působení okolní atmosféry zanedbatelné. Podstatou tohoto druhu napadení je, že vlivem vibrací dochází k opakovanému otěru tenké oxidické vrstvy a tedy k opakované reakci čistého povrchu s kyslíkem. To má za následek úbytek materiálu a jeho přeměnu na korozní produkty. Dalo by se říci, že jde o opotřebení ploch třením, které je však mnohem závažnější kvůli oxidačním pochodům v prostředí. Nejčastěji můžeme

tento druh koroze pozorovat u ložisek a jiných vibračně namáhaných strojních součástí. [1]
[4] [5]



Obr. 9 - Vibrační koroze [5]

1.5.2 OPOTŘEBENÍ

Opotřebení má zásadní vliv na životnost strojních součástí, jejichž stav se následně projeví i na spolehlivosti, životnosti a údržbě celého stroje. Opotřebení součástí lze charakterizovat jako poškození vzniklé vzájemným kontaktem nebo relativním pohybem dvou povrchů. Z důvodu velkého množství faktorů působících v tomto procesu, je tento děj velmi složitý i v těch nejjednodušších případech. Opotřebení se nejčastěji projevuje nárůstem hlučnosti, chvění nebo rázů stroje. Opotřebení lze obecně popsat jako odstraňování nebo přemísťování částic hmoty z povrchu materiálu v důsledku mechanických vlivů. Opotřebení se může projevovat následujícími způsoby:

- Mikroplastická deformace – zatlačení tvrdších částic do měkčího povrchu
- Únava povrchových vrstev – důsledek opakovaných rázů
- Vznik oxidů a zvýšení teploty v místě dotyku materiálů
- Změna struktury
- Aktivace povrchových vrstev. [1]

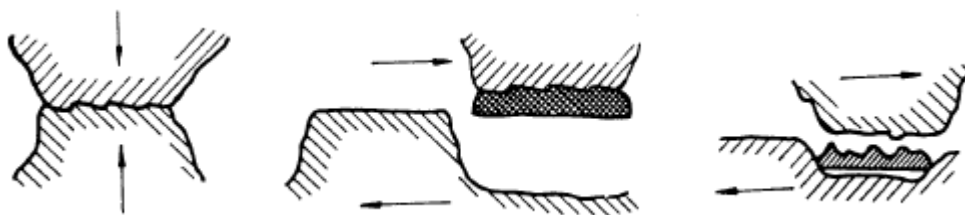
Podle podmínek vzniku dělíme opotřebení na:

- Adhezivní
- Vibrační
- Abrazivní
- Erozivní
- Únavové
- Kavitační. [1] [6]

Adhezivní opotřebení

Adhezivní opotřebení nastává, když jsou při vzájemném klouzavém pohybu vytrhávány a přenášeny částice z povrchu jednoho kovu na druhý, bez přítomnosti cizích částic v místě styku. K vytrhávání částic dochází v důsledku působení značných meziatomových sil, které mají tendenci spojit materiály v jeden, nebo v důsledku působení normálového zatížení přitlačujícího materiály k sobě. Na adhezivní opotřebení má především vliv množství a velikost mikronerovností na povrchu, velikost normálového zatížení a rychlost pohybu, schopnost materiálu vytvářet adhezní mikro-spoje a mazivo. Snížit toto opotřebení je možné vhodnou volbou konstrukčního materiálu, a také mazáním a s tím spojenou údržbou mazacího média. [1] [6]

Pro vyhodnocení adhezivního opotřebení byla vypracována spousta hypotéz, dosud však neexistuje obecná teorie umožňující celkové kvantitativní hodnocení probíhajících procesů. Na obrázku č. 10 je znázorněno schéma porušování povrchů dle Fenga, který přisuzuje rozhodující vliv vzájemnému zablokování mikronerovností na dotykových ploškách při tvorbě mikro-spojů, v důsledku plastické deformace. [1]



Obr. 10 - Schéma adhezivního porušování povrchů dle Fenga [1]

Vibrační opotřebení

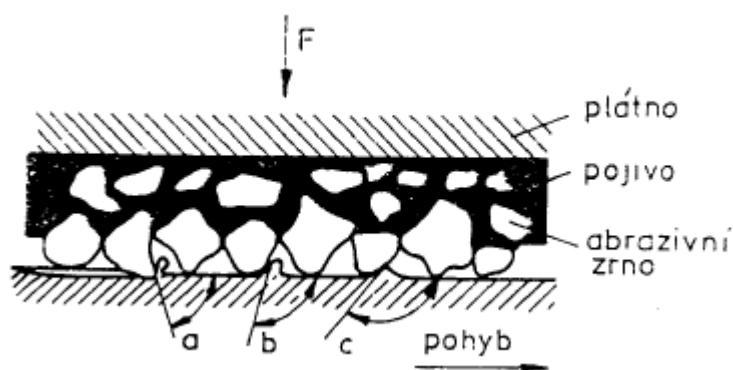
Vzniká u strojních součástí v bodovém, čárovém nebo plošném styku za současného vzájemného kmitavého pohybu o různé amplitudě a frekvenci. Tato tělesa jsou k sobě přitlačována normálovou silou. Amplituda u tohoto druhu poškození by neměla přesáhnout 0,075 mm, jinak už bychom museli hovořit o adhezivním poškození. Vibrační poškození probíhá v oxidačním prostředí a důležitou roli zde hrají částice odděleného kovu od povrchu, které postupně mění charakter opotřebení na abrazivní. Silně oxidační prostředí zrychluje vibrační opotřebení, a mění charakter poškození na vibrační korozi. Zásadní vliv na velikost opotřebení bude mít velikost normálového zatížení, amplituda a frekvence vibrací a také volba konstrukčního materiálu. Snížení tohoto poškození můžeme dosáhnout hlavně snížením nebo úplným odstraněním vibrací, čehož jsme schopni dosáhnout hlavně velmi přesnou výrobou. [1] [6]



Obr. 11 - adhezivní poškození (vlevo), vibrační poškození (vpravo) [6]

Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení je v podstatě oddělování materiálu z povrchu nervnostmi tvrdšího materiálu, nebo případně tvrdšími cizími částicemi mezi dvěma povrchy, které jsou ve vzájemném tření. Hlavní faktory ovlivňující abrazivní poškození jsou velikost zatížení, délka kluzné dráhy a tvrdost materiálu. Abrazivní poškození také velmi ovlivní charakter cizích částic tedy jejich tvar, velikost a v neposlední řadě také množství. Při oddělování materiálu abrazivními částicemi je velmi důležitý úhel který svírá hrana částice s povrchem materiálu. Podle tohoto úhlu se bude odvíjet charakter odebrání částic základního materiálu, tedy jestli bude částice materiál jen rýhovat, vytvářet podél své dráhy val, nebo bude odebírat materiál za vzniku třísky, podobně jako u obrábění. [1] [6]



Obr. 12 – schéma oddělování materiálu a – tříška, b – nárůstek, c – val [1]

Rýhování na materiálu se objeví v případě, že se částice pohybují podél plochy materiálu za působení poměrně malé přítláčné síly (broušení). Oddělování materiálů v důsledku únavy materiálu a křehkého lomu můžeme pozorovat, když se abrazivní částice

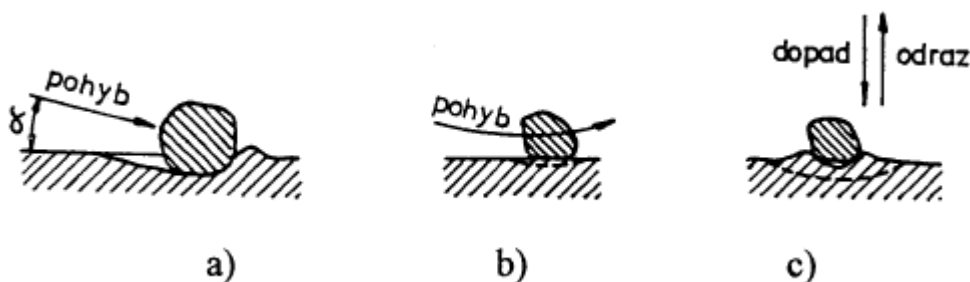
vyskytují mezi funkčními plochami strojů (čelisti). Snížit tento druh opotřebení můžeme například utěsněním proti vnikání abrazivních částic, nebo vhodnou povrchovou úpravou materiálu pro zvýšení jeho tvrdosti. [1] [6]

Abrazivní poškození povrchu materiálu tedy závisí na mnoha vlastnostech, ať už se jedná o vlastnosti povrchu samotného nebo vlastnosti částic, které svou přítomností povrchy porušují. Podrobnějším zkoumáním se zjistilo. Že každý materiál má svou kritickou hranici velikosti abrazivního zrna, na které se výrazně mění závislost opotřebení na velikosti zrna. Je tedy zřejmé, že se jedná o velmi složitý proces. Pro zjednodušení porovnání jednotlivých materiálů byla zavedena tzv. poměrná odolnost proti opotřebení, která se vyhodnocuje pomocí etalonových abraziv a etalonů kovů. [1]

Erozivní opotřebení

Erozivní opotřebení lze vysvětlit jako poškození povrchu materiálu nárazy tuhých částic, které jsou unášeny nějakým médiem. Opět se jedná o velmi složitý proces ovlivněný spoustou faktorů týkajících se jak dopadajících částic, tak média, a také poškozovaného materiálu. Hlavní faktory ovlivňující tento proces jsou:

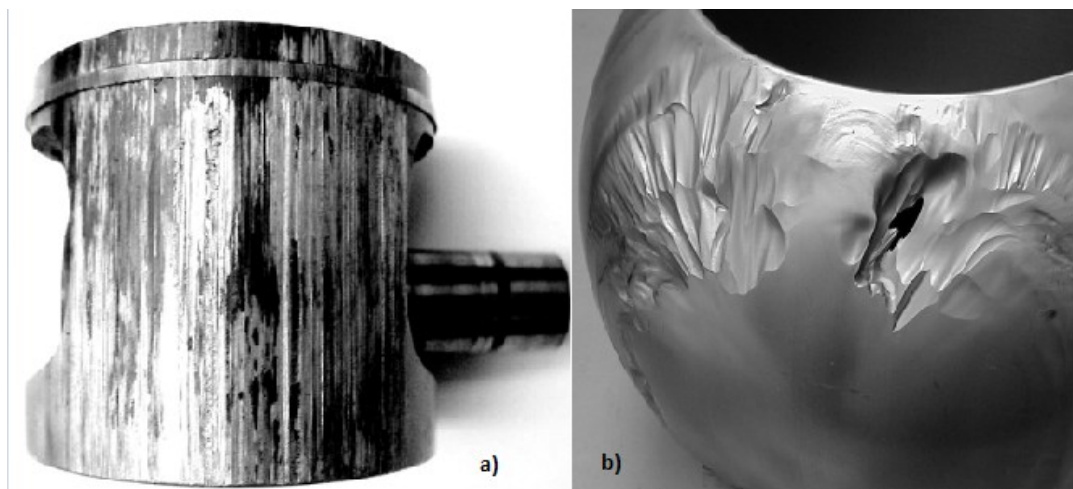
- Podmínky nárazu – rychlost a úhel dopadu
- Vlastnosti média a částic – tvrdost, tvar, druh, velikost, rozložení částic v médiu, druh, teplota a chemické vlastnosti média
- Vlastnostmi namáhaného materiálu. [1]



Obr. 13 - projevy dopadu částice a) šikmo, b) rovnoběžně, c) kolmo na povrch

Kinetická energie částice se po dopadu na povrch mění v deformační práci, což zanechá na povrchu materiálu stopu nebo dojde k oddělení malého množství materiálu. Opakované dopadání částic na povrch materiálu se projevuje jako únavové zatěžování. Objektivní zhodnocení odolnosti materiálu proti erozivnímu poškození je velmi složité, protože musíme počítat se spoustou faktorů ovlivňujících tento proces, jako je například i agresivita daného média. Můžeme ale snížit velikost poškození volbou vhodného materiálu nebo povrchovou úpravou. Tento proces má i svoje využití. Jakousi řízenou

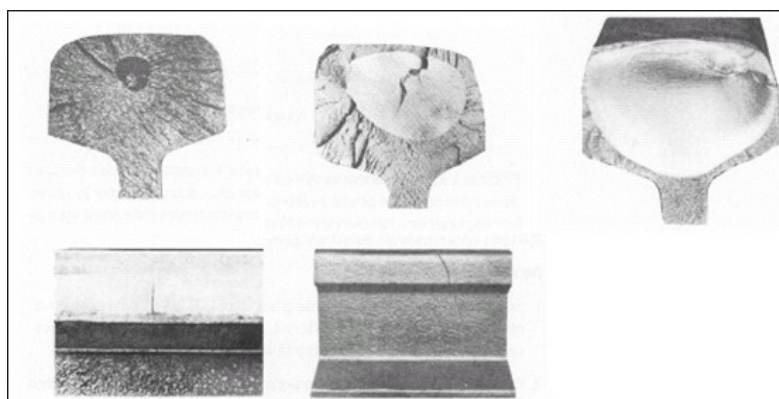
formou erozivního opotřebení by se dalo nazvat otryskávání povrchu materiálu kovovými broky. Tato technologie využívá vysokých a vzájemně srovnatelných modulů pružnosti dopadajících částic i opracovávaných ploch. [1] [6] [7]



Obr. 14 - a) abrazivní poškození, erozivní poškození [6]

Únavové opotřebení

Únavové opotřebení se projevuje v místech opakovaného styku dvou těles, kde na povrch působí velké množství normálových a smykových sil. Nejvýrazněji se projevuje na zakřivených kontaktních plochách, kdy hovoříme o kontaktní únavě. V podstatě se jedná o postupnou kumulaci mikrotrhlin na funkčních plochách, které se postupně spojují a rozšiřují, v důsledku čehož může dojít až k úplnému rozlomení materiálu tzv. únavovému lomu. Únavové namáhání tedy vzniká při cyklickém zatěžování materiálu, pokud je namáhání pod mezí kluzu, hovoříme o vysoko-cyklové únavě, pokud je nad mezí kluzu pak hovoříme o nízko-cyklové únavě. V železniční dopravě představuje tento jev velký problém. V krajním případě může dojít k únavovému lomu kolejnice, což představuje velký problém. [1] [7]

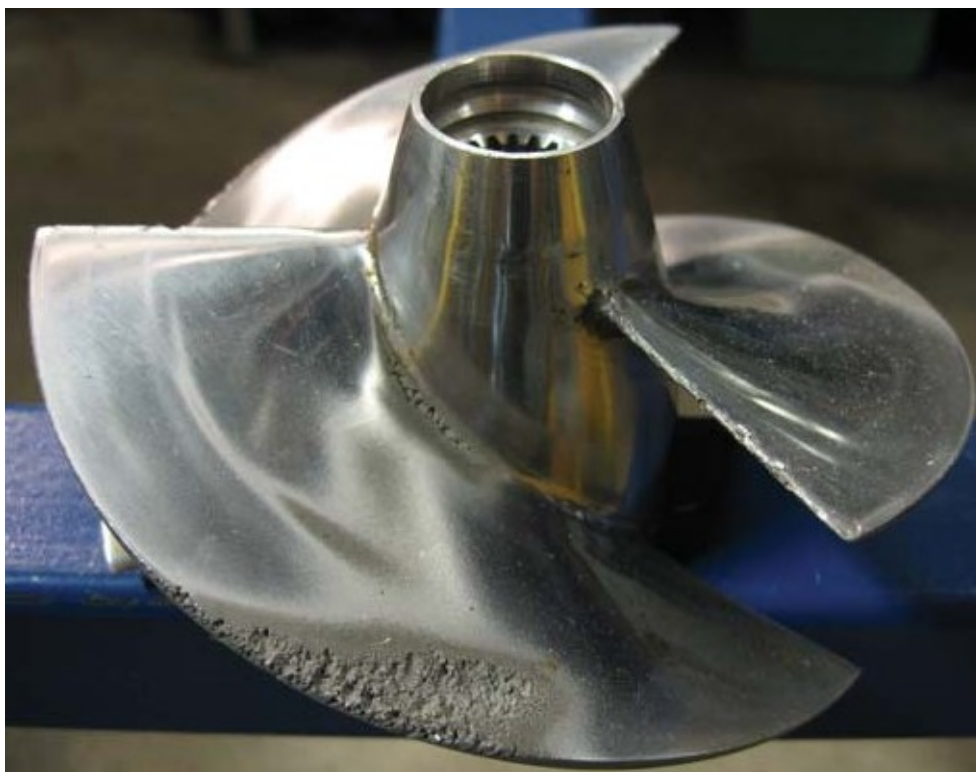


Obr. 15 - únavový lom

Kavitační opotřebení

Kavitační opotřebení je způsobováno dynamickými účinky zanikajících kavitačních bublin. Kavitační bubliny vznikají v místě poklesu tlaku kapaliny a následně při kontaktu s povrchem materiálu zaniknou, za vzniku rázové vlny poškozující materiál. Toto poškození se může na první pohled zdát zanedbatelné, ale opak je pravdou. Při zániku bublin vznikají velmi malé oblasti, kde prudce vzroste tlak a teplota vody. Tlak zde může dosáhnout hodnot až 10^3 MPa teplota několika stovek stupňů, což má na materiál poměrně ničivé účinky. Většina dnešních běžně používaných materiálů nedokáže příliš dlouho odolat tomuto poškození. Doposud neexistuje všeobecně přijatelná teorie popisující mechanismus vzniku kavitačního poškození, ale podle většiny badatelů se jedná o proces mechanický. Zásadní vliv na velikost kavitačního opotřebení mají vlastnosti materiálu samotného, hlavně jeho tvrdost. V poslední době se ale spíše hovoří o schopnosti materiálu pohltit deformační energii. [1] [7]

Za současného působení kavitačních bublin a proudících tvrdých částic můžeme hovořit o tzv. kombinovaném opotřebení, které však nelze popsat jako součet opotřebení kavitace a eroze. Toto opotřebení se řídí naprosto odlišnými zákonitostmi a dokonce přidání pevných částic do kapaliny může snížit kavitační poškození, ale jen do určitého množství těchto částic. Po přesáhnutí tohoto množství se poškození materiálu zvětšuje. [1]



Obr. 16 - poškození kavitací [7]

2 ÚPRAVY POVRCHŮ PŘED APLIKACÍ POVLAKU

Úpravy povrchů před aplikací ochranných nátěrových hmot provádíme z pravidla ze dvou důvodů. Prvním z nich odstranění nečistot z povrchu materiálu, které jsou k němu vázány fyzikálně. Jedná se o zbytky emulzí, konzervačních prostředků nebo prachových částic. Tyto nečistoty mají zásadní vliv na následnou přilnavost ochranné nátěrové hmoty. Tyto úpravy povrchu materiálu jsou také specifické tím, že po jejich použití nedochází ke změně geometrických vlastností povrchu, tedy jeho kotvícího profilu. Do této skupiny úprav povrchů bez změny profilu patří například odmašťování nebo ultrazvukové čištění. Druhou skupinou jsou úpravy povrchů, kdy po jejich zařazení dochází ke změnám geometrie povrchu tedy kotvícího profilu. Tento druh úprav zařazujeme z důvodu odstranění nečistot, které jsou k povrchu vázány chemickou vazbou, tedy oxidační vrstvy nebo korozní produkty. Do této skupiny úprav povrchů se změnou profilu patří většina mechanických úprav, ze zástupců chemických úprav povrchů můžeme jmenovat například moření v kyselinách. [3]

Jak již bylo zmíněno úpravy povrchů lze rozdělit podle mechanismu rozdělit na chemické a mechanické. Díky těmto úpravám jsem tedy schopni splnit dva základní požadavky na povrch materiálu:

- Zajištění určité mikrogeometrie a kvality povrchu
- Zajištění určité čistoty povrchu. [1]

2.1 MECHANICKÉ ÚPRAVY POVRCHŮ

Ve většině případů řadíme mechanické úpravy povrchů do skupiny, kde dochází ke změně geometrických vlastností povrchu. Tím se snažíme splnit požadavky povrchu na určitou kvalitu a jakost, kterou nejčastěji vyjadřujeme jako drsnost povrchu. V podstatě se jedná oddělování nečistot i částí povrchů materiálů, jinými tvrdšími povrchy popřípadě částicemi. Základní účely mechanických úprav jsou:

- Očištění povrchu
- Zajištění dobré přilnavosti následných vrstev
- Zlepšení odolnosti proti opotřebení a korozi
- Zlepšení mechanických vlastností
- Zajištění určitých vzhledových požadavků. [1]

2.1.1 OTRYSKÁVÁNÍ

Jak již bylo řečeno, jde o jakési účelné využití erozivního poškození, kdy jsou částice záměrně vrhány proti opracovávanému povrchu. Ne vždy však platí, že tyto částice musí být unášeny nějakým médiem. Často se totiž k dodání kinetické energie částicím používá tryskacích kol, která svojí rotací vrhají tryskací médium na povrch tryskaného materiálu. K nejvyšší intenzitě tryskání povrchu materiálu dochází při použití tryskacího i otryskávaného materiálu s vysokým a navzájem srovnatelným modulem pružnosti, tedy otryskávání ocelových konstrukcí kovovými broky. [1] [7]

Výkon otryskávání neboli úběr ovlivňujeme:

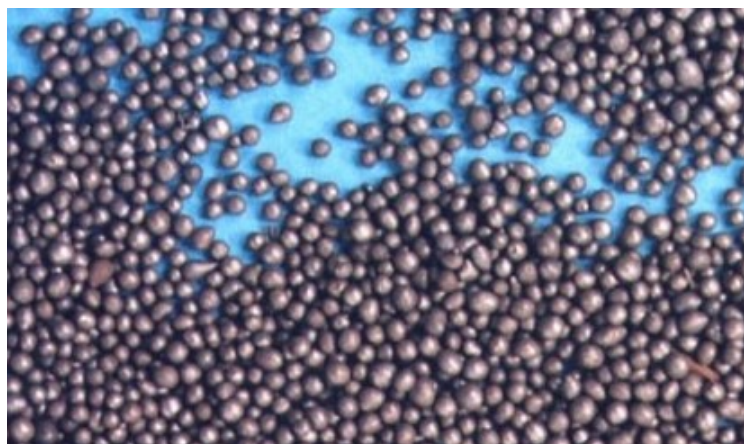
- druhem tryskaného materiálu,
- velikostí zrn,
- tlakem,
- úhlem a vzdáleností tryskání,
- rozměrem trysky. [1]

Stupně otryskání:

- Sa 1 - lehké otryskání,
- Sa 2 - důkladné otryskání,
- Sa 2 1/2 – velmi důkladné otryskání,
- Sa 3 – otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch. [8]

Nejpoužívanější otryskávací média:

- Litinové broky a drtě – jedná se o materiál poměrně drahý ve srovnání například s křemičitým pískem, ale také má až 60x větší trvanlivost a mnohem větší úběrové schopnosti. Maximální tlak pro použití je 0,7 MPa. Použití tohoto materiálu je poměrně hospodárné, také je bezpečné pro obsluhu, protože nedochází k tak velkému drcení média při střetu s povrchem a k následnému rozptýlení v ovzduší, což je například u křemičitého písku velkým problémem. Litinový granulát je vyroben rozstříkem tekutého kovu. Litinová drť je vyrobena drcením litinového granulátu, oproti granulátu má výrazně ostřejší hrany. [1] [3] [9]



Obr. 17 - litinový granulát [9]



Obr. 18 - litinová drť [9]

- Křemičitý písek – jde o tryskáci materiál s velmi nízkou cenou, jehož zrna mají velmi ostré hrany. Většinou se používá pro pneumatické tryskání s maximálním tlakem do 0,3 MPa. Při tryskání pod vyšším tlakem dochází k drcení média o povrch materiálu a následné rozptýlení částic v ovzduší což má za následek ohrožení zdraví obsluhy. [3]



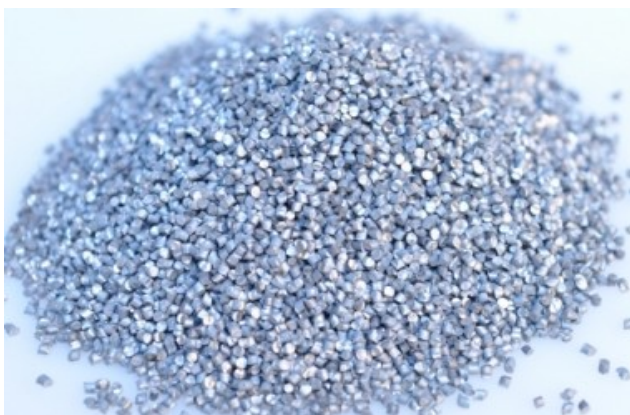
Obr. 19 - křemičitý písek frakce 1,4-2,0 mm [10]

- Brusiva – mezi nejčastěji používané materiály patří karbid křemíku nebo umělý korund. Mají ostré zrno a velmi dobrou trvanlivost, také nedochází k tak velkému rozptýlení prachových částic v ovzduší. Pro barevné je kovy je vhodný materiál kysličník hlinitý A99, což je bílý odmagnetizovaný tryskáč materiál s minimálně 99% Al_2O_3 , pro ocel a litinu pak kysličník hlinitý A96. [3] [11]



Obr. 20 - bílý korund A99 s 99% obsahem Al_2O_3 [11]

- Sekaný drát – tento materiál vyniká velmi vysokou pevností, základní sekaný drát má pevnost 160 MPa, ale k dostání jsou i mnohem pevnější dráty s pevností vyšší i než 500 MPa. Je vhodný pro mechanické otryskávání a pro tryskáče s mechanickými tryskacími koly, hlavně z důvodu že je šetrný k metacím kolům. Tyto materiály jsou vhodné k čištění běžných kovových povrchů. Jsou dodávány ve formě malých válečků o stejné výšce jako jejich průměr. Jde o materiál velmi drahý přesto poměrně hospodárný, protože má vysokou životnost. Vyznačuje se také velmi vysokou účinností a nízkou prašností procesu. Pro opracování různých povrchů se používají dráty z různých materiálů jako nerezové, zinkové nebo mosazné. [2] [3] [11]



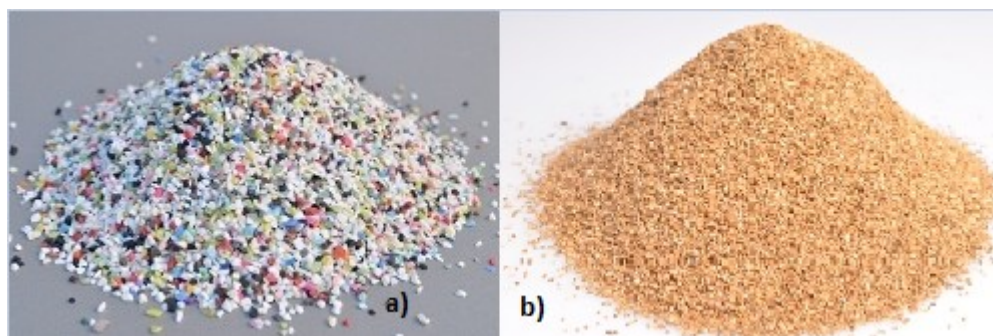
Obr. 21 - Sekaný ocelový drát [11]

- Balotina – jedná se o skleněné mikrokuličky získávané granulací skla. Je to abrazivo vhodné pro použití zejména v uzavřených systémech s recyklací tryskaného materiálu. Používá se zvláště k jemnému tryskání nerezových dílů, leštění nebo jako finální úprava. Po otryskání balotinou můžeme pozorovat snížení drsnosti až o 50% a v důsledku vzniku důlků na povrchu materiálu taky mnohem lepší korozní odolnost. Velikost mikrokuliček balotiny je různá, od 70 μm až do 600 μm . [3] [11]



Obr. 22 - Balotina o velikosti zrna 300-600 μm [11]

- Speciální materiály – jsou vhodné pro dosažení matných nebo pololesklých povrchů u hliníkových, zinkových, cínových nebo měděných povrchů. Velmi rozšířené jsou plastové tryskácké hmoty vyrobené z termoplastického akrylu nebo jiných plastových směsí. Jsou vhodné pro použití v uzavřených tryskacích kabinách a mezi jejich hlavní přednosti patří, že se skoro vůbec neštěpí, tedy mají téměř nulovou prašnost a vysokou životnost, další výhodou je že nedochází k úbytku základního materiálu, jejich použití je tedy vhodné i pro čištění již pokovených materiálů, či odstraňování laků v automobilovém průmyslu. Dalším speciálním materiálem jsou drcené ořechové skořápky, jejichž použití je vhodné k čištění ploch, kde je nežádoucí jakýkoli úběr základního materiálu. [3] [11]



Obr. 23 - a) plastové abrazivo, b) drcené ořechové skořápky [11]

2.1.2 BROUŠENÍ

Tato technologie je založená na abrazivním opotřebení materiálu, podobně jako otryskávání je založeno na erozivním opotřebení. K úběru materiálu dochází za pomoci brusných kotoučů nebo pásů, na které je pevně nebo volně vázáno abrazivo. Často se používá před následným leštěním nebo kartáčováním k odstranění hrubých nerovností jako švů nebo rýh. Touto technologií lze dosáhnout vysokého lesku materiálu, proto se někdy používá jako finální úprava, častější je ale použití pro očištění a úpravu povrchu před následnou aplikací povlaku. [1] [3]

Podle stupně nerovnosti lze broušení rozdělit na:

- hrubé broušení (hrubování) – zrnitost 24 – 80,
- hlazení – zrnitost 100 – 150,
- jemné hlazení – zrnitost 200 – 240, přimazávání za účelem snížení tření,
- předlešťování – zrnitost 280 – 320,
- jemné předlešťování – zrnitost 400 – 600. [3]

2.1.3 LEŠTĚNÍ

Leštění je operace velmi podobná broušení, avšak s tím rozdílem, že se zde nepoužívají kotouče s abrazivem, ale kotouče látkové nebo plstěné. Abrazivo je potom obsaženo v leštících pastách, které se nanášejí na kotouč. Na rozdíl od broušení dochází při leštění k minimálnímu úbytku leštěného materiálu, spíše dochází k plastickým deformacím v povrchové vrstvě, což má za následek odstranění i těch nejjemnějších stop po předchozím opracování, a také velmi nízké drsnosti povrchu, kterých jsme schopni dosáhnout (až 0,1 Ra). Tato operace je vhodná pro dosažení vysokého lesku povrchu a díky minimálnímu úběru materiálu je vhodná i pro galvanicky pokovené materiály. Výsledná jakost povrchu bude ovlivněna druhem použitého kotouče a leštící pasty a také obvodovou rychlostí. Pro hrubé leštění se používá tvrdších kotoučů, mastnějších a hrubších past a vyšších obvodových rychlostí. Pro finální leštění se používá nižších obvodových rychlostí za použití měkčích kotoučů a sušších, jemnějších past. [1] [3]

2.1.4 KARTÁČOVÁNÍ

Kartáčování lze v podstatě rozdělit na tři druhy. Na odstraňování hrubých nečistot jako jsou okraje nebo korozní produkty, za použití kartáčů s ocelovými dráty. Pro matovou úpravu za použití kartáčů s jemnými mosaznými dráty. A kartáčování pro zjemnění povrchu za použití přírodních nebo umělých vláken a brusných past. [3]

2.1.5 OMÍLÁNÍ

Technologie vhodná k odjehlení, vyleštění povrchů nebo odstranění korozních produktů malých těles. Princip spočívá ve vzájemném působení několika součástí, kapaliny a přidaného abraziva do omílací nádoby. Tyto nádoby mohou být bubny nebo zvony a zpravidla se otáčejí. Tato technologie je vhodná pro menší tvarově nenáročné součásti do hmotnosti asi 1kg. Větší součásti by měly být při omílání v nádobě připoutány. Mezi hlavní výhody patří nízká cena provozu bez nutnosti nepřetržitého dohledu pracovníka, a fakt že při omílání dochází ke zpevnění povrchu a tím zvýšení korozní odolnosti. Mezi nevýhody bychom mohli zařadit nevhodnost použití pro tvarově složité součásti a také nerovnoměrný úběr materiálu, který je větší na hranách. Pro hrubé omílání se používají tvrdší omílací prostředky s hrubšími zrny. Nejčastěji se používají přírodní nebo umělé kameny, kovová tělesa, organické hmoty, dřevěné piliny atd. Je také nutné postupem času omílací tělesa měnit protože se obrušují a snižuje se jejich úběr. Obvykle se volí poměr součástí a omílacích elementů 1:3, u větších součástí někdy až 1:20. Omílání se ve většině případů provádí v kapalině, až na suché omílání, kde je riziko poškrábání součástí na rozdíl od omílání v kapalině, která tlumí jednotlivé nárazy. Zpravidla jsou součástí kapaliny nějaké chemické prostředky, které v průběhu omílání čistí a chrání proti korozi, jak součásti, tak i omílací elementy. Zvláštní druh je tzv. kuličkování (omílání za mokra ocelovými kalenými kuličkami) pro dosažení sklovitě lesklého povrchu. [1] [3]

2.2 CHEMICKÉ ÚPRAVY POVRCHŮ

Chemické úpravy povrchů se používají především pro odstranění nečistot s povrchu materiálu. Dle druhu nečistot je potřeba zvolit vhodnou chemickou úpravu. Pro nečistoty vázané jen adhezními silami jako jsou zbytky, past, emulzí nebo třeba prachové částice je vhodná technologie odmašťování. Pro nečistoty vázané k povrchu chemickou vazbou jako například korozní produkty je naopak vhodné zařadit technologii moření. Vhodné využití pro chemické úpravy povrchu je před aplikací nějakého povlaku. Dle druhu povlaku a požadavků na čistotu povrchu pro zajištění dobré přilnavosti je třeba zvolit vhodnou úpravu. Kupříkladu vysoké požadavky na čistotu podkladového materiálu jsou u galvanického pokovování, pro následnou aplikaci nátěrových hmot jsou tyto požadavky nižší. [1] [3]

2.2.1 ODMAŠŤOVÁNÍ

Odmašťování provádíme hlavně za účelem zbavení povrchu všech ulpělých nečistot, které jsou k povrchu vázány adhezními silami (kovové třísky, prach) a také nečistot vázaných k povrchu materiálu fyzikální adsorpcí (většinou maziva na tukové bázi). Díky odstranění těchto nečistot by měla být zajištěna dobrá přilnavost následného ochranného povlaku. V podstatě je úkolem odmašťovacího přípravku odstranění těchto nečistot a jejich převedení do roztoku nebo do emulze, aby nedošlo k jejich opětovnému vyloučení na povrchu. Po odmašťování je třeba opláchnout materiál horkou vodou. Také je nutné, aby byla odmašťovací lázeň čistá například odvodem nečistot na hladině přes přepad. Tyto odpadní vody však musí směřovat do neutralizačních stanic, aby došlo k ekologické likvidaci odmašťovacích prostředků. [1] [2]

Dělení dle způsobu aplikace:

- odmašťování ponorem,
- odmašťování postřikem,
- odmašťování v parách,
- odmašťování elektrolytické,
- odmašťování ultrazvukem,
- mechanické a tepelné. [1]

Dělení podle odmašťovacího prostředku:

- Odmašťování v alkalických roztocích – roztoky s louhem nebo sodou, popřípadě tenzidy zlepšujícími kvalitu odmaštění a urychlujícími celý proces. Principem je zmýdelňování rostlinných a živočišných tuků a následný přechod do roztoku. Neefektivní pro minerální mastnoty (vazelíny, oleje), tyto mastnoty lze odstranit za vyšších teplot. [1] [2]
- Odmašťování v organických rozpouštědlech – jednoduchý, levný a velmi rozšířený způsob s nevýhodou náročné likvidace rozpouštědel. Mezi nejpoužívanější patří petrolej, benzin, aceton, toluen. [1] [2]
- Odmašťování elektrolytické – velmi účinné, jedná se o odmašťování v alkalických roztocích, kterými prochází elektrický proud. Dělíme na anodické, katodické, katodicko – anodické. [1] [2]
- Odmašťování v neutrálních roztocích – roztoky různých saponátů s vodou, vhodné zejména k ručnímu čištění. [2]

- Vysokotlaké čištění – jde o kombinaci vody o vysokém tlaku s odmašťovacími prostředky, popřípadě i písku. [2]
- Parní čištění povrchu – tepelný a tlakový čistící účinek páry v kombinaci s dávkami odmašťovacího prostředku. [2]
- Odmašťování v emulzních roztocích – emulze je směs organických rozpouštěl s pomocnými látkami, emulgátory a vodou, emulgátory umožňují snadné odplavení nečistot rozpuštěných organickými rozpouštědly. [2]
- Odmašťování opalem – mastnoty a nečistoty se vlivem plamene přemění na plynné látky, vhodné využití pro rozměrné součásti, teplota v rozmezí 300 – 450 °C. Hrozí deformace plechu. Po opalování je nutno odstranit oxidické vrstvy otryskáním nebo mořením. [3]

2.2.2 MOŘENÍ

Moření je chemický proces, kdy se odstraňují oxidické vrstvy, okuje a korozní produkty ponorem v kyselině. Rozpouští se spodní vrstva oxidů, které se odlupují za vzniku vodíku, který tomuto procesu napomáhá. Následně oxidické vrstvy klesají ke dnu. Zásadní vliv na intenzitu procesu má koncentrace kyseliny v lázni a také teplota lázně. Maximální mořící účinek má kyselina sírová o koncentraci 25% za zvýšené teploty. Doba moření závisí na tloušťce a struktuře nečistot, ale obvykle se pohybuje od 10 do 30 minut. Lázeň postupem času ztrácí svoji účinnost a klesá v ní koncentrace kyseliny a naopak stoupá obsah železa. Po moření je nutné zařadit opláchnutí teplou i studenou vodou. [2] [3]

Nejčastěji používané mořící lázně:

- Kyselina sírová – koncentrace 5 – 20 %, při teplotě 40 – 70 °C
- Kyselina chlorovodíková – koncentrace 5 – 17 %, při teplotě 20 °C, při vyšších teplotách způsobují agresivní výpary korozi okolního prostředí. [3]
- Kyselina fosforečná – o koncentraci 15%, při teplotě 60 – 80 °C, současně pasivace i odmaštění povrchu, ale účinnost lázně je nízká. [3]

3 ORGANICKÉ POVLAKY

Organické nátěrové hmoty jsou jedním z nejstarších a nejčastěji používaných způsobů ochrany povrchu materiálu (80 – 90%). Zejména je to dáno tím, že vykazují poměrně dobré ochranné vlastnosti, snadné použití, ale i dostupností obrovského množství různých druhů organických povlaků. Pro aplikaci ochranného nátěrového systému není zapotřebí žádných složitých a drahých zařízení a dají se využít na součásti prakticky všech tvarů a velikostí, taky jsou velmi snadno opravitelné. Hlavním důvodem použití těchto povlaků je ochrana podkladového materiálu, mají také ale jiné specifické využití jako například dekorativní, signální, maskovací a další. Nátěr má za úkol zabránit přístupu vody a agresivních složek prostředí k povrchu chráněného materiálu. Protože většina nátěrových systémů je pórovitá přidávají se do nich antikorozní pigmenty a inhibitory koroze, které zneškodňují agresivní složky při jejich difúzi povlakem. Povlaky vyrobené z plastických hmot tyto antikorozní pigmenty neobsahují, takže jejich povrch by měl být prakticky bez pórů. Existuje mnoha způsobů rozdělení organických nátěrových hmot například podle počtu vrstev aplikace nátěru na jednovrstvé a vícevrstvé, také podle prostředí použití na venkovní a vnitřní, nebo podle doporučeného způsobu aplikace. Podle mého názoru je však nejdůležitější dělení dle charakteru nátěrové hmoty:

- Transparentní – jedná se o bezbarvé nátěrové hmoty, kde hlavní složku tvoří složka filmotvorná, někdy v kombinaci se složkou těkavou. Někdy se přidáním organického barviva zajišťuje zabarvení nátěrové hmoty. Tyto nátěrové hmoty se dělí dle složky, na jejíž bázi je tento systém založen, tomuto rozdělení se budu blíže věnovat v jedné z následujících kapitol. [1] [3]
- Pigmentové – jedná se neprůhledné nátěrové hmoty s nízkým obsahem pigmentů, při vyšším množství obsažených pigmentů pak hovoříme o tmelu. Pigmenty určují základní vlastnosti těchto nátěrových hmot i jejich ochranné schopnosti. Přidávané pigmenty mohou být kovový zinek, kovový mangan, práškové olovo, nebo suřík. [1] [3]

Další velmi důležité dělení se zakládá na mechanismu ochrany proti korozi:

- Bariérový
- Inhibiční
- Adhezní
- Elektrochemický. [12]

3.1 SLOŽENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT

Nátěrové hmoty se skládají z následujících složek:

Filmotvorné složky (pojiva)

Tyto látky dodávají nátěrovému systému schopnost vytvořit souvislou tenkou vrstvu a navázat na sebe rozptýlené pigmenty a plniva ve finálním filmu. Existuje mnoho druhů těchto složek s odlišnými vlastnostmi, proto se mezi sebou často kombinují k dosažení specifických vlastností nátěru. Některé druhy těchto látek jsou popsány v následující kapitole.[3]

Těkavé složky (rozpouštědla)

Tyto látky mají za úkol udržet nátěrovou hmotu v současném stavu, tedy s rozpuštěnými pojivy, také se používají k úpravě konzistence. Po kontaktu se vzduchem se tyto látky odpaří a tím dojde ke ztvdnutí nátěrového systému. Nejčastěji se používají benzíny, benzenové sloučeniny jako třeba toluen, alkoholy, ketony atd. [3]

Pigmenty

Jsou to buď anorganické, nebo organické částice rozptýlené v pojivu, dávající nátěrům barevný odstín a zlepšující jejich vlastnosti. Lze je rozdělit do třech skupin:

- Inhibitorové – Jejich ochrana spočívá ve vytváření těžko rozpustných sloučenin, v pasivaci povrchu, regulaci pH nebo v elektrochemické ochraně. Používá se zinkový prach, zinková žluť, suřík aj.
- Neutrální – Používají se hlavně pro zlepšení fyzikálních vlastností nátěrů. Používá se chroman titaničitý, titaničitan olovnatý, titanová běloba aj.
- Stimulující – Jsou chemicky netečné, v galvanickém článku vystupují jako katoda. Používají se pro vrchní nátěry s ohledem na prostředí, ve kterém budou použity. Nejčastěji se jedná o grafit nebo saze. [3]

Plnidla

Plnidla jsou minerální látky obsažené v pojivu, které upravují technologické vlastnosti nátěrového systému, například zabraňují jeho smrštění. Často se používá mastek nebo křída. [3]

Aditiva

Aditiva jsou přísady do nátěrových hmot, často obsahující vysychavé oleje, kovová mýdla nebo jejich roztoky. Podle účelu přidávání jsou to emulgátory, stabilizátory, sušidla, zvláčňovadla aj. [3]

3.2 RODĚLENÍ A OZNAČOVÁNÍ NÁTĚROVÝCH HMOT

Pro usnadnění orientace byl vytvořen jednotný systém označování nátěrových hmot. Tento systém značení dělí nátěrové hmoty dle barevného odstínu a dle jejich druhu. Počáteční písmeno označuje surovinu na jejíž bázi je tento nátěr založen. Dále následují čtyři číslice, z nichž první označuje druh nátěrové hmoty, další pak barevný odstín. [1]

Tabulka 2 - Dělení nátěrových hmot [1]

Dělení dle základní složky		
A – asfaltové	K – silikonové	U – polyuretanové
B – bezrozpouštědlové	L – lihové	V – vodové a emulzní
C – celulózové	O – olejové	P – pomocné přípravky
H – chlórkaučukové	S – syntetické	
Druh nátěrové hmoty		
1000 – fermeže, transparentní laky	5000 – tmely	
2000 – pigmentové barvy a emaily	6000 – ředidla	
3000 – pasty	7000 – sušidla, tužidla, katalyzátory	
4000 – nástřikové hmoty	8000 – pomocné přípravky	
Barevné odstíny dle ČSN 67 3067		
1000 – 1999 – šedé	4000 – 4999 – modré	7000 – 7999 – oranžové
2000 – 2999 – hnědé	5000 – 5999 – zelené	8000 – 8999 – červené
3000 – 3999 – fialové	6000 – 6999 – žluté	9000 – 9999 – ostatní

Dále se budu blíže věnovat některým druhům nátěrů dle základní složky.

Asfaltové nátěrové hmoty – A

Jako základní filmotvorná složka se u nich používají přírodní asfalty, získávaných pomocí destilace ropy nebo kamenouhelného dehtu. Tyto látky jsou dobře rozpustné v organických rozpouštědlech jako benzin nebo toluen. Dále se k těmto látkám přidávají oleje, pryskyřice nebo epoxidy, v kombinaci s nimi získávají tyto nátěry velmi dobré vlastnosti. Jejich zasychání může probíhat na vzduchu nebo v peci až při teplotách 200 °C. Mají velmi dobré ochranné vlastnosti proti kyselinám, proti povětrnostním vlivům však ne. [1]

Celulózové nátěrové hmoty – C

Jejich základní filmotvorné složky jsou odvozené od nitrátu celulózy. V kombinaci s dalšími filmotvornými složkami tak zvanými zvláčňovadly vykazují velmi dobré filmotvorné vlastnosti a vysokou odolnost proti hydroxidům i o vysoké koncentraci. Nitrát celulózy sám o sobě moc dobré vlastnosti nemá. Pro zlepšení vlastností se přidávají pigmenty a pryskyřice. Tyto nátěrové hmoty se vyznačují velmi rychlým zasycháním obvykle do jedné hodiny, což však neznamená, že již odtékali veškerá rozpouštědla, to může trvat až několik dní. Odtékání rozpouštědel lze urychlit přisoušením do 60°C. Z důvodu malé vydatnosti těchto nátěrů se obvykle aplikují ve více vrstvách, někdy je také zapotřebí použít základní nátěr jiného charakteru (například syntetický) z důvodu špatné přilnavosti celulózových nátěrů. Velmi dobré ochranné vlastnosti mají proti povětrnostním vlivům. [1]

Chlórkaučukové nátěrové hmoty – H

Filmotvorné složky těchto nátěrových hmot jsou na bázi chlorizovaného přírodního kaučuku, popřípadě jeho derivátů. Tyto látky se vyznačují velmi rychlým zasycháním. Chlórkaučukové nátěry mají velmi dobré ochranné vlastnosti proti chemikáliím a minerálním olejům, a však proti povětrnostním vlivům jsou ochranné vlastnosti nižší. Z toho důvodu se často přidávají k jiným nátěrovým hmotám, kterým dodají vysokou chemickou odolnost. Protože jsou velmi pružné, dobře odolávají mechanickému poškození, špatně však snášejí vysoké teploty nad cca 70°C. [1]

Silikonové nátěrové hmoty – K

Tyto nátěrové hmoty mají velmi dobrou odolnost proti vyšším teplotám, avšak nemají moc dobrou přilnavost. Z toho důvodu se často kombinují s alkydy nebo epoxidy, čímž však dochází ke snížení jejich teplotní odolnosti. Nejčastěji se používají jako pojidla do tepelně namáhaných nátěrů. [1]

Lihové nátěrové hmoty – L

V podstatě se jedná o roztoky pryskyřic rozpustných v lihu jako například kalafuna, tyto látky po zaschnutí vytěkáním rozpouštědla slouží jako pojidla. Tyto nátěrové hmoty velmi rychle schnou, mají vysoký lesk a dobrou odolnost proti olejům. Špatnou odolnost mají ovšem proti povětrnostním vlivům. [1]

Olejové nátěrové hmoty – O

Hlavní složkou těchto nátěrových hmot jsou vysychavé oleje ve směsi s pryskyřicemi rozpuštěnými v lakovém benzinu. Poměr těchto látek určuje vlastnosti a použitelnost těchto nátěrových hmot. Za normálních podmínek tyto látky zasychají velmi dlouho, podle druhu od 8 do 72 hodin, tento čas se dá zkrátit přidáním sušidel nebo přisoušením do teploty 80°C. Při teplotách nižších než 15°C se čas schnutí razantně prodlužuje. Tyto nátěry mají velmi dobrou vydatnost a dobré ochranné vlastnosti proti povětrnostním vlivům. Nižší ochranné vlastnosti mají proti vodě a proti chemikáliím mají velmi špatné ochranné vlastnosti. [1]

Syntetické nátěrové hmoty – S

Tento druh nátěrových hmot je založen na bázi umělých pryskyřic. Dále se dělí dle druhu použitých pryskyřic, které se často kombinují pro dosažení specifických vlastností. V podstatě tyto nátěrové hmoty spojují výhody celulózových a olejových hmot a odstraňují jejich nevýhody. [1]

Největší podskupinou jsou hmoty alkydové. Dělí se na vypalovací (sušení při 120 – 150°C) a schnoucí na vzduchu, které lze přisoušet do teploty 80°C. [1]

Další podskupinou jsou rezolové. Tyto hmoty se nejčastěji vytvrzují při teplotách 160 – 200°C. Jsou velmi odolné proti vodě a chemikáliím. [1]

V současné době je kladen velký důraz na ochranu životního prostředí. Z tohoto důvodu je snaha tyto nátěrové hmoty nahrazovat vodou ředitelnými nátěrovými hmotami s nižším obsahem VOC látek. Velmi často se také setkáváme s přidáváním pevných částic o velikostech menších než 100 nm do takovýchto nátěrových systémů. Přidání takovýchto částic může kladně ovlivnit mechanickou i korozní odolnost těchto nátěrových hmot. [17]

3.3 POŠKOZENÍ NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ

Povlak je spolu se základním materiálem namáhán mnoha způsoby, mezi které patří mechanické poškození, pnutí, vliv okolního prostředí nebo teplotní změny. To se na povlaku může projevit tím, že dojde k jeho poškození vznikem trhlin nebo odloupenutím části povlaku. Náhylnost povlaku k poškození je určována především jeho typem a složením, tuto vlastnost však může ovlivnit mnoho dalších faktorů jako je tloušťka, přilnavost, velikost pnutí nebo druh mechanického namáhání součásti a povlaku. Pnutí v tenkých povlácích jsou poměrně vysoká, v důsledku jejich působení může dojít k plastické deformaci nebo dokonce k lomu. [1]

Další mechanismus poškození povlaku je vznik trhlin v důsledku zatěžování ohybem. Tyto trhliny mohou vzniknout kolmo nebo v ploše fázového rozhraní a velmi rychle se šíří celou tloušťkou povlaku. Vysoké riziko vzniku trhlin je v místech, kde se vyskytují nějaké vady povlaku. Stejně tak i odlupování povlaků je zapříčiněno vadami na rozhraní povlak-kov. Dalšími příčinami vzniku trhlin v povlaku může být cyklické zatěžování nebo tečení. U těchto variant jsou však mechanismy poškození povlaku velmi složité. [1]

4 NANOTECHNOLOGIE A NANOPOVLAKY

Nanotechnologiemi nazýváme odvětví zabývající se objekty o velikosti v řádech nanometrů, přesněji řečeno částicemi, které mají alespoň ve směru jedné osy rozměr od 1 do 100 nanometrů. V současné době jsou velmi rozvíjeny metody získávání nanočástic, protože při tomto procesu lze řídit velikost, tvar a ostatní vlastnosti vytvářených částic a tím dosáhnout naprosto specifických vlastností. Nanočástice nacházejí své využití v mnoha odvětvích jako elektrotechnický, strojírenský, chemický, stavební, textilní a automobilový průmysl. [13] [14]

Nanočástice lze rozdělit do tří skupin, toto dělení je dle normy ISO/TS 27687 a dělí nanočástice podle toho v kolika směrech kartézského souřadného systému nedosahují rozměru v řádech nanometrů, tedy mají rozměr větší než 100 nm. Podle těchto vlastností se pak dále liší jejich další vlastnosti a následné využití. [17]

- 0D částice – dosahují rozměru < 100 nm ve všech třech osách
- 1D částice – dosahují rozměru < 100 nm pouze ve dvou osách
- 2D částice – dosahují rozměru < 100 nm pouze v jedné ose. [17]

Základní metody přípravy nanočástic:

- Fyzikální metody – těmito metodami lze připravit částice, jejichž rozměry mají velkou rozmanitost, ale většinou mají průměr větší než 10 nm. Často využívaná fyzikální metoda je mechanické mletí částic a jejich následná stabilizace. [14]
- Chemické metody – mnohem používanější metody. Nejčastěji se v dnešní době využívá redukce solí přechodných kovů. Tato metoda je velmi jednoduchá a je možné při ní kontrolovat velikost zárodků kovu. Vznikají při ní monodisperzní nanočástice. Někdy jsou používána redukční činidla jako například hydridy, soli nebo alkoholy. [14]

4.1 NANOPOVLAKY

Běžný nátěr je složen z organických molekul s dlouhými uhlíkovými řetězci. Nanonátěry jsou složeny z anorganických částic křemíku, vázaných k sobě organickými polymery. Protože jsou velmi malé, jsou křemíkové částice velmi hustě propojeny a tím získává nanonátěr větší tvrdost a ořezuvzdornost. Tyto nátěrové systémy pak vykazují velmi dobré ochranné vlastnosti jak proti mechanickému poškození, tak proti chemikáliím, korozi i vodní páře. Další vynikající schopnosti nanonátěrů jsou samočistící a samoopravovací. Tyto nátěrové systémy jsou za určitých podmínek schopné rozkládat ulpělé nečistoty, nebo dokonce zacetit škrábance uvolňováním barevných nanočástic. [15] [16]

Organické nátěrové hmoty jsou velmi vhodné pro vytvoření kompozitních nátěrových systémů s nanočásticemi. Nanočástice se používají jako plniva do nátěrových hmot, což má za následek velmi výrazné změny jejich vlastností. Ideální částice pro použití jako plnivo do nátěrového systému jsou 1D částice, tedy částice, které dosahují nano rozměru ve dvou směrech, také je nazýváme nanotrubicemi. Přidáním těchto částic dochází ke zpevnění filmu tím pádem také ke zvětšení tloušťky filmu a ke zvýšení odolnosti. Vhodné nátěrové hmoty pro tvorbu kompozitního ochranného systému s nanočásticemi jsou hmoty polyuretanové, alkydové, akrylátové nebo na bázi epoxidových pryskyřic. Zvolený typ plniva v podobě nanočástic kovu potom závisí na požadovaných vlastnostech nátěrového systému. Kompozitní nátěrový systém na bázi epoxidové pryskyřice s obsahem s obsaženými uhlíkovými víceštěnnými nanotrubicemi vykazuje zvýšenou odolnost proti abrazi a erozi. Uhlíkové nanotrubicemi jsou v epoxidovém nátěru rozmístěny rovnoměrně, takže si nátěr zachovává své ochranné vlastnosti v celé své tloušťce, tedy i při úbytku materiálu mechanickým poškozením. Přidané pojivo v podobě víceštěnných nanotrubic má také pozitivní vliv na přilnavost. [17]

V experimentální části bude použit transportní transparentní vodou ředitelný lak vyvinutý NII LKP CHOŤKOVO, Moskevská oblast, Ruská federace. Tento nanolak vytváří v důsledku chemické reakce se substrátem fázovou nanovrstvu o maximální tloušťce do 50 nm. Tento nanolak obsahuje převážně 2D nanočástice, tedy částice, které dosahují rozměru < 100 nm pouze v jednom směru. Jsou zde však také zastoupeny 0D a 1D nanočástice. Jednou z těchto částic je hydrofobní AEROSIL RU 805 o velikosti asi 12 nm, který brání sedimentaci pevných částic nátěru před aplikací. [17]

5 NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Experimentální materiál

- Ocelový plech DC01

Příprava vzorků před aplikací nátěrového systému

- Odmaštění v prostředku Simple green, koncentrace 1:10
- Sušení
- Měření drsnosti povrchu před a po odmaštění - Mitutoyo Surftest – 301

Nátěrový systém

- Transportní transparentní vodou ředitelný lak s obsahem nanočástic kovu NOVAX VD-AK-3-289 vyvinutý NII LKP CHOŤKOVO

Aplikace nátěrového systému

- Pneumatické stříkání

Zkoušky nátěrového systému

- Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěru dle ČSN EN ISO 2808
- Tepelné zatížení 80°C, 100°C, 120°C po dobu 30, 60, a 90 min
- Zkoušení mechanické odolnosti nástřelem 10-90 N ihned po vytažení z pece nástrojem dle Wegnera
- Měření přilnavosti nátěrových systémů, Křížový řez dle ČSN EN ISO 16276-2, po vychladnutí vzorků
- Kontrolní nástřely 30, 60, 90 N po vychladnutí pro porovnání s nástřely ihned po vytažení z pece

6 POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

K našemu experimentu jsme použili vzorků z ocelového plechu o tloušťce 4 mm a rozměrech 100 x 200 mm. Plechy byly odmaštěny v lázni odmašťovacího prostředku Simple green s vodou v koncentraci 1:10. Následně byly vzorky sušeny v peci při teplotě 100°C. Na jednom vzorku bylo provedeno orientační měření drsnosti drsnoměrem Mitutoyo Surf test – 301. V další fázi byl aplikován nátěr pneumatickým stříkáním. V průběhu stříkání byla měřena mokrá tloušťka nátěru zubovou měrkou. Po zaschnutí nátěru byla změřena suchá tloušťka pomocí měřicího přístroje Elcometer 456. Následně byla zkoušena tepelná odolnost a odolnost proti mechanickému poškození. Vzorky byly vystaveny zvýšené teplotě 80°C, 100°C a 120°C po dobu 30 min, 60 min, a 90 min. Ihned po vytažení z pece byl proveden nástřel. Po vychladnutí na pokojovou teplotu byla zkoumána přilnavost metodou křížového řezu. Na konec byly provedeny kontrolní nástřely silou 30 N, 60 N a 90 N při pokojové teplotě pro srovnání poškození za různých teplot.

6.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Jako zkušební vzorky byl použit ocelový plech DC01. Jedná se o hlubokotažnou ocel s nízkým obsahem uhlíku válcovanou za studena. Vzorky měly rozměry 100 mm x 150 mm a tloušťku 4 mm. V následujících tabulkách jsou uvedeny mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu vzorků.

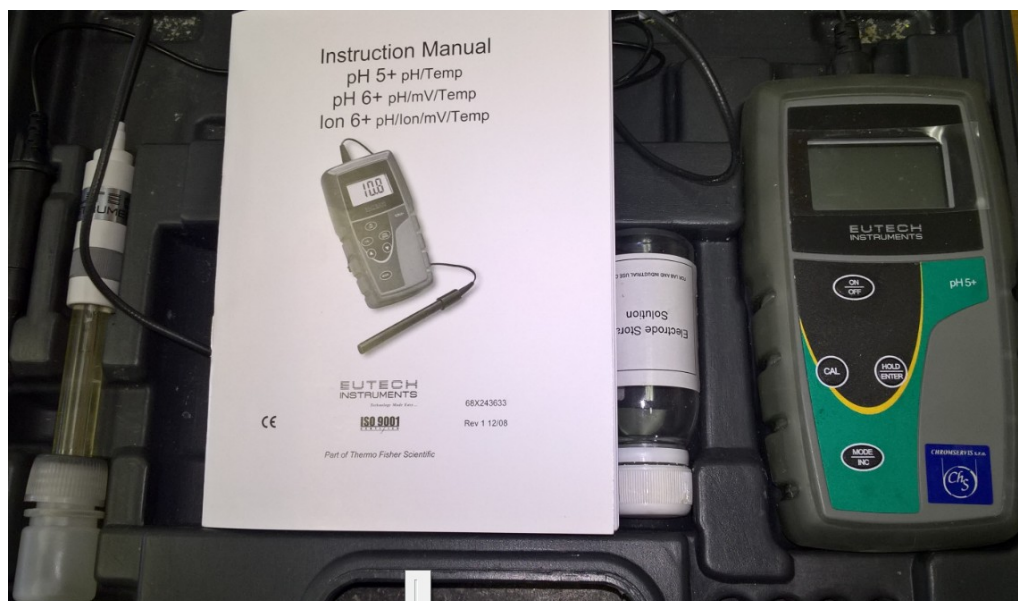
Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti vzorků

Jakost	Mez pevnosti - R_m [MPa]	Mez kluzu - R_e [MPa]
DC01	140 - 280	270 - 410

Tabulka 4 - Chemické složení vzorků

Prvek	C	P	S	Mn
Max %	0,12	0,045	0,045	0,6

Následně byla na jednom vzorku měřena drsnost měřena drsnost povrchu vzorku pomocí drsnoměru Mitutoyo Surf test – 301. Dále byly vzorky odmaštěny v odmašťovací lázni prostředku Simple green o koncentraci 10%. Voda měla teplotu 22,2°C a pH 8,35. Odmašťovací lázeň měla pH 10,14 a po odmaštění 9,99. Odmašťovací prostředek Simple green má pH 10,92. Pro měření pH bylo použito měřicího přístroj od výrobce EUTECH INSTRUMENTS zachyceného na následujícím obrázku.



Obr. 24 - přístroj pro měření pH

Vzorky byly odmašťovány ponorem po dobu 6 minut a následně opláchnuty pod tekoucí studenou vodou. Potom byly vloženy do pece předehřáté na 100°C kde byly sušeny po dobu 20 min.

V následujících tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty drsnosti povrchu, dle ČSN EN ISO 4287. V tabulce číslo 5 hodnoty před odmaštěním, v tabulce číslo 6 naměřené hodnoty drsnosti povrchu po odmaštění. Pokaždé bylo provedeno 6 měření, 3 v horizontálním směru a 3 ve směru vertikálním. Měření bylo prováděno s parametry filtr profilu $\lambda c = 2,5$ mm a délka měření $l = 12$ mm.

Tabulka 5 - výsledky měření drsnosti povrchu vzorků před odmaštěním

Měření	Ra	Rz
1	7,26	45,98
2	6,82	39,34
3	7,17	43,05
4	6,47	42,17
5	5,91	38,59
6	6,08	34,99
Průměr	6,62	40,69

Tabulka 6 - výsledky měření drsnosti povrchu vzorků po odmaštění

Měření	Ra	Rz
1	6,72	42,98
2	6,24	39,04
3	6,96	39,94
4	6,11	35,33
5	5,41	31,94
6	6,63	42,99
Průměr	6,35	38,71

*Obr.25 - Měření drsnosti**Obr. 26 - Mitutoyo Surftest – 301*

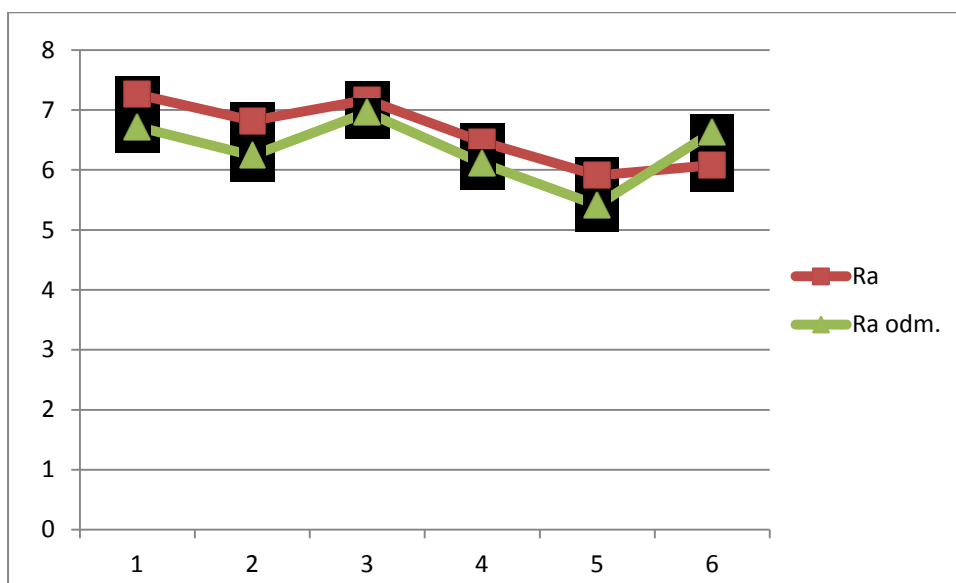
Vyhodnocení

Protože byly použity všechny vzorky ze stejného materiálu, bylo provedeno měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 pouze na jednom vzorku. Měření bylo provedeno

před a po odmaštění povrchu za pomoci drsnoměru Mitutoyo Surftest – 301. Vždy bylo provedeno 6 měření, tři ve směru vodorovném a tři v kolmém směru. V následující tabulce jsou srovnány naměřené hodnoty drsnosti Ra a Rz, před a po odmaštění a také srovnání hodnot průměrných.

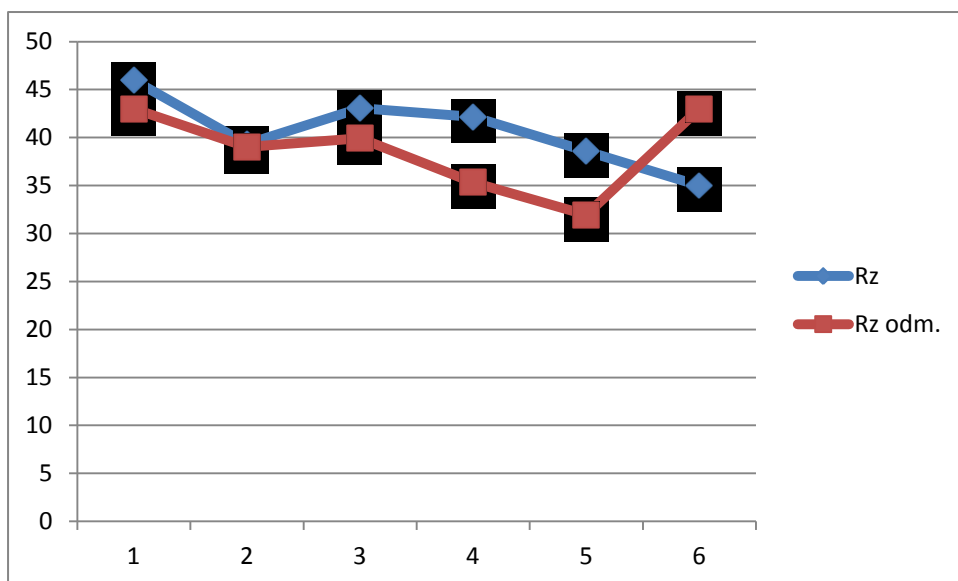
Tabulka 7 - srovnání výsledků naměřených drsností

Měření	Ra	Ra odm.	Rz	Rz odm.
1	7,26	6,72	45,98	42,98
2	6,82	6,24	39,34	39,04
3	7,17	6,96	43,05	39,94
4	6,47	6,11	42,17	35,33
5	5,91	5,41	38,59	31,94
6	6,08	6,63	34,99	42,99
Průměr	6,62	6,35	40,69	38,71



Graf 1 - srovnání Ra před a po odmaštění

Z grafu i z tabulky je patrné, že hodnoty Ra byly po odmaštění nižší, i výsledná průměrná hodnota po odmaštění je nižší. Je to způsobeno rozpuštěním nečistot na vrcholech geometrie povrchu. Poslední hodnota měření 6 je sice vyšší u odmaštěných vzorků, ale tento jev připisují tomu, že povrch není všude stejný a náhodně bylo pro 6 měření vybráno místo s vyššími nerovnostmi. To dokazuje i graf č. 2 kde je hodnota Rz měření 6 výrazně vyšší než hodnota před odmaštěním.



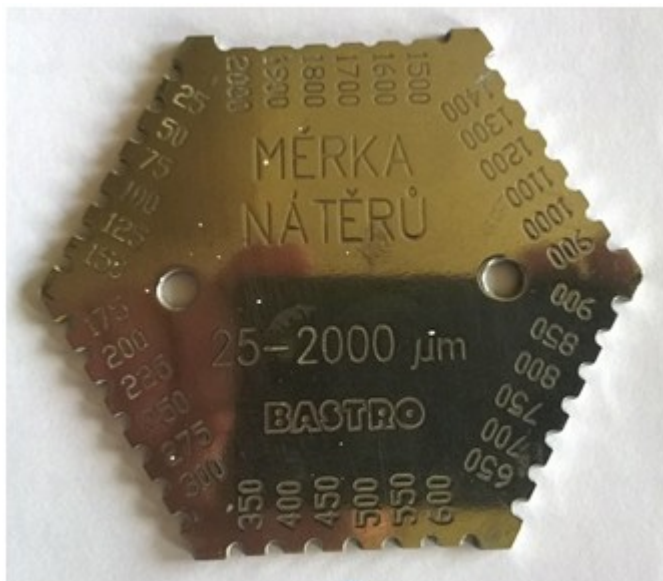
Graf 2 - Srovnání Rz před a po odmaštění

6.2 APLIKACE NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU

Na povrch vzorků byl aplikován transparentní transportní vodou ředitelný nanolak NOVAX VD-AK-3-289 obsahující akrylátovou disperzi s obsahem antikoročních pigmentů na bázi oxyaminofosfátového komplexu hořčíku a vápníku. Tyto pigmenty vytváří s organickými inhibitory koroze na povrchu ochranné pasivační nanovrstvy s průměrnou tloušťkou 50 nm. Tyto nanovrstvy mají velmi dobré ochranné vlastnosti proti atmosférické korozi. Komplex oxidu zinku spolu s těmito pigmenty zajišťují velmi dobrou korozní odolnost. Dále tento nanolak obsahuje hydrofobní Aerosil R 805 o rozměru asi 12 nm, který udržuje viskozitu nanolaku na dobré úrovni. I po delší době v klidu tyto částice omezují usazování složek u dna nátěrového systému. Tato složka také vytváří na fázovém rozhraní vrstvu odpuzující vodu. [19]

Nanolak byl na povrch substrátu aplikován dle patentu č. 304 190. Nanolak byl zředěn vodou - 10% celkového množství nátěrové hmoty. Vzorky byly přehřívány v peci na teplotu 40°C, následně na ně byl aplikován nátěrový systém pneumatickým stříkáním pistolí s průměrem trysky 1,3 mm. Byl použit tlak 0,25 MPa. Během stříkání byla měřena mokrá tloušťka nátěrového filmu, která by měla dle patentového postupu být v rozmezí od 150 μm do 200 μm. Pro měření mokré tloušťky byla použita normalizovaná zubová měrka, která je zachycena na obrázku 27. Po aplikaci nátěrového systému byly vzorky ponechány po dobu 10 min na vzduchu za pokojové teploty pro zaschnutí nátěru. Poslední fází

aplikačního procesu je vytvrzení nátěrového systému v peci při teplotě 68 – 78°C po dobu 30 min.



Obr. 27 - zubová měrka

V následující tabulce jsou zaznamenány okolní podmínky, za kterých probíhala aplikace nátěrového systému. Tyto podmínky byly zjištěny pomocí měřicího přístroje Elcometer 319 zobrazeného na obrázku 28.

Tabulka 8 - podmínky při aplikaci nátěrového systému

Podmínky při aplikaci nátěrového systému	
Relativní vlhkost – Rv	34,2 %
Teplota vzduchu – Tv	24,3°C
Teplota povrchu – Tp	40°C
Rosný bod – Rb	7,5°C
Rozdíl mezi Tp a Rb - ΔT	32,5°C



Obr. 28 – měřicí přístroje pro měření a) okolních podmínek, b) suché tl. nátěru

Po vytvrzení nátěrového systému byla měřena tloušťka suchého nátěrového filmu pomocí tloušťkoměru Elcometer 456, který je zobrazen na obrázku 29 společně s přístrojem na měření okolních podmínek. Na každém vzorku bylo provedeno 10 měření, z nichž přístroj zaznamená nejmenší, největší průměrnou tloušťku a také směrodatnou odchylku. V následující tabulce jsou zaznamenány naměřené hodnoty u všech vzorků.

Tabulka 9 - výsledky měření tloušťky suchého nátěru

Vzorek	Počet měření n [μm]	Minimální tloušťka [μm]	Maximální tloušťka [μm]	Průměrná tloušťka [μm]	Směrodatná odchylka σ
1	10	63,8	94,6	77,69	10,1
2	10	65,1	90,3	79,8	8,08
3	10	72,4	113	90,34	12,4
4	10	77	101	85,15	8,16
5	10	58,6	112	77,71	17,3
6	10	63,2	95,8	72,97	8,91
7	10	59,0	86,6	71,08	9,81
8	10	86,4	115	95,33	8,75
9	10	47,5	83,2	62,81	11,9
10	10	82,5	104	98,05	9,18
11	10	60,3	76,3	66,27	4,60

12	10	62,6	83,4	71,32	7,35
13	10	66,2	82,7	72,94	5,21
14	10	66,3	87,6	76,54	6,00
15	10	66,4	90,3	81,25	7,19

Vyhodnocení

V další fázi experimentální části byly hodnoceny tloušťky nátěrového systému. Za mokra k tomu bylo použito zubové měrky, za sucha měřicího přístroje Elcometer 456. Tento přístroj měří suchou tloušťku nemagnetických nátěrů na magnetickém podkladu. Tloušťky byly vyhodnocovány dle ČSN EN ISO 2808. Suchá tloušťka by měla být dle technologického postupu 150 – 200 μm . Na několika místech byla doporučená mokrá tloušťka překročena, což mělo za následek vznik puchýřků po vytvrzování v peci. Výsledky měření suché tloušťky jsou zaznamenány v tabulce 8 v kapitole 6.2. Z této tabulky je vidět, že byly nanесeny poměrně velké tloušťky nátěrového systému.

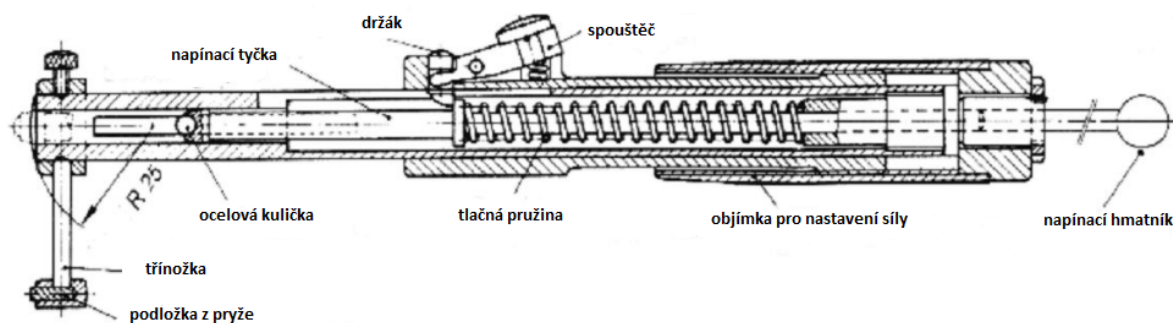
6.3 ZKOUŠENÍ TEPELNÉHO ZATÍŽENÍ A MECHANICKÉ ODOLNOSTI

Další fází experimentální části práce bylo zkoušení mechanické odolnosti nátěrového systému při zvýšené teplotě. Vzorky byly vystaveny postupně teplotám 80 °C, 100°C, a 120°C na každé teplotě po dobu 30, 60 a 90 min. Ihned po vytažení z pece byl na vzorcích prováděn nástřel pomocí nástroje dle Wegnera, zachyceného na následujícím obrázku. Postupně byly provedeny nástřely silou od 10 N až do 90 N. Po vychladnutí byly provedeny nástřely silou 30 N, 60 N a 90 N. Mechanické poškození nástřely bylo provedeno také na referenčním vzorku, který nebyl vystaven tepelnému namáhání pro porovnání s ostatními vzorky. Tyto nástřely byly provedeny pro porovnání s poškození při zvýšené teplotě, tedy když je nátěr měkký a za normální teploty, tedy po vytvrnutí. Jelikož neexistuje norma, která by specifikovala metodiku zkoušení nástrelem pro tento druh povlaků, ale pouze pro smalty, bude nástřel vyhodnocen porovnáním fotografií nástřelů pořízených při desetinásobném zvětšení. Vyhodnocení proběhlo po minimálně 24 hodinách od nástřelování.

Na konec experimentu byly ještě vyzkoušeny extrémní podmínky pro nátěr, tedy tepelné zatížení 200°C po dobu 30 min. Na tomto vzorku byly rovněž provedeny všechny nástřely tak jako u ostatních vzorků.



Obr. 29 - nástroj na nastřelování povlaku dle Wegnera



Obr. 30 - Schéma zkušebního nástroje dle Wegnera



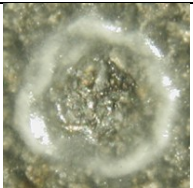
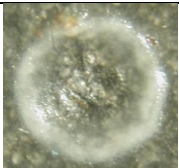
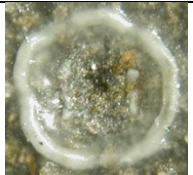
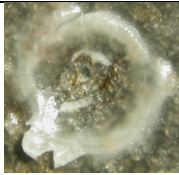
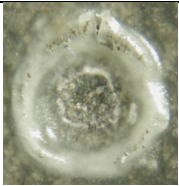
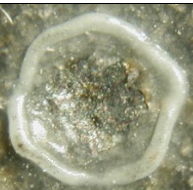
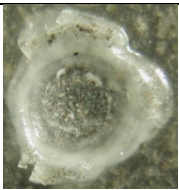
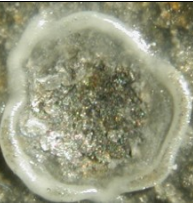
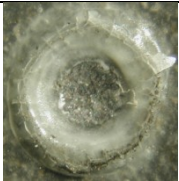

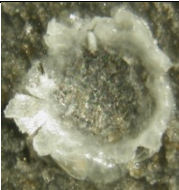
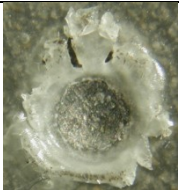
V následující tabulce je popsáno označování vzorků a způsob jejich tepelného namáhání.

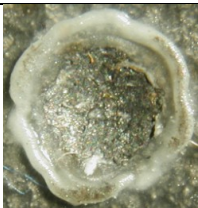
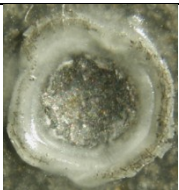
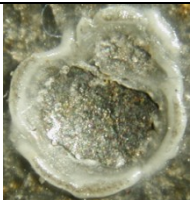
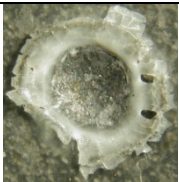
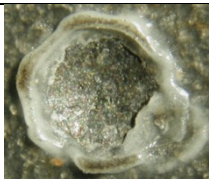
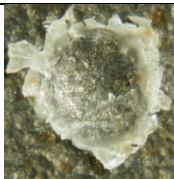
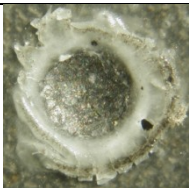
Tabulka 10 - označení vzorků a jejich zatížení

Číselné označení vzorku	Teplota a čas zatížení
6	80°C, 30 min
7	80°C, 60 min
9	80°C, 90 min
10	100°C, 30 min
11	100°C, 60 min
12	100°C, 90 min
13	120°C, 30 min
14	120°C, 60 min
15	120°C, 90 min
5	200°C, 30 min
8	Referenční, bez zatížení

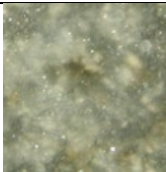

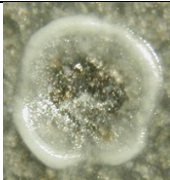
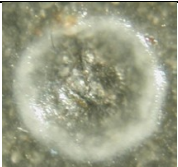
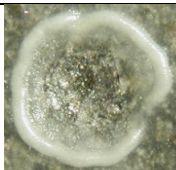
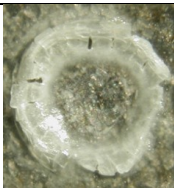
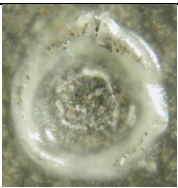
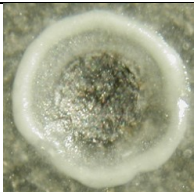
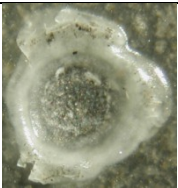
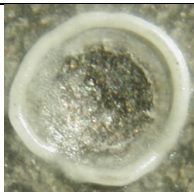
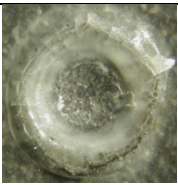
V následujících tabulkách jsou zaznamenány výsledky nástřelů postupně pro všechny vzorky vystavené všem různým po všechny časy. Výsledky jsou v tabulkách zaznamenány v porovnání s referenčním vzorkem č. 8, který nebyl vystaven zvýšené teplotě a v porovnání s kontrolními nástřely pro 30 N, 60 N a 90 N, které byly provedeny na vzorcích vystavených vyšší teplotě až po vychladnutí. V tabulce 19 jsou tímto způsobem zaznamenány výsledky vzorku č. 5, který byl vystaven extrémní teplotě 200°C po dobu 30 min.

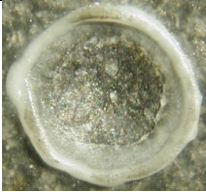
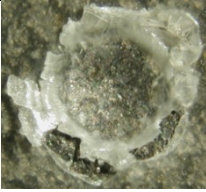
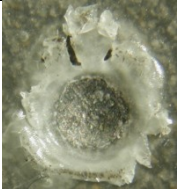

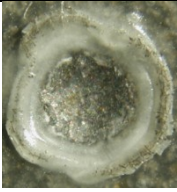
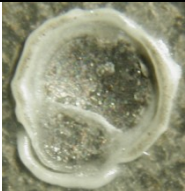
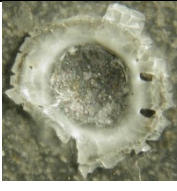

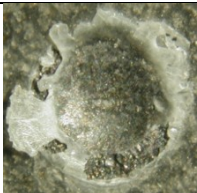
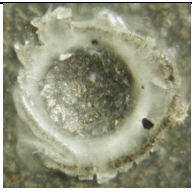
Tabulka 11 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 6 - 80°C, 30 min

Síla [N]	VZ 6 – 80°C, 30 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			
30			
40			
50			
60			

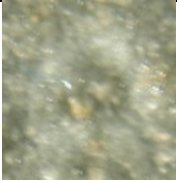
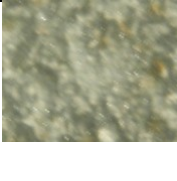
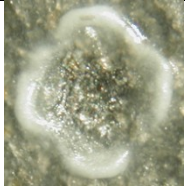
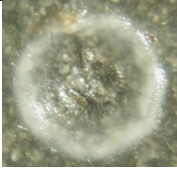


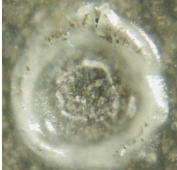
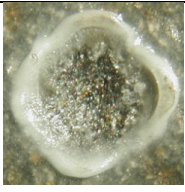
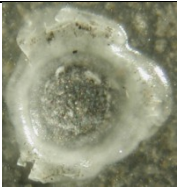
70			
80			
90			

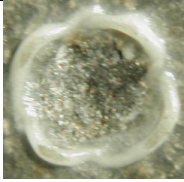

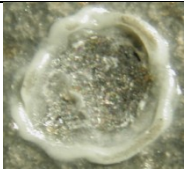
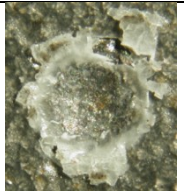
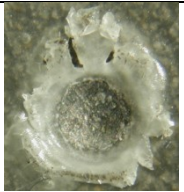
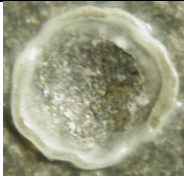
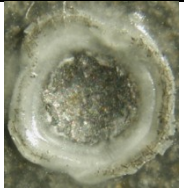
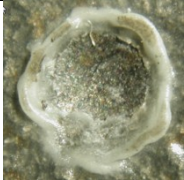
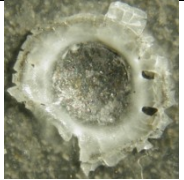
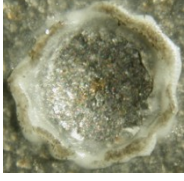
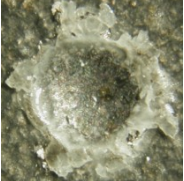
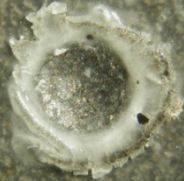
Tabulka 12 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 7 - 80°C, 60 min

Síla [N]	VZ 7 – 80°C, 60 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			
30			
40			
50			

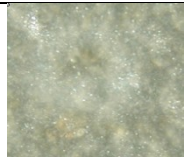
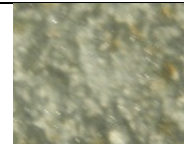
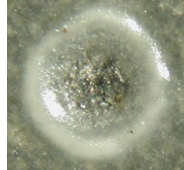
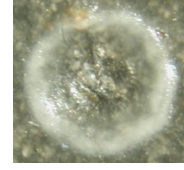
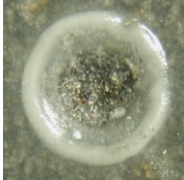
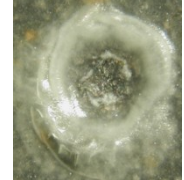
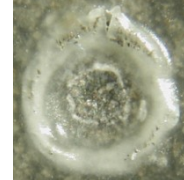
60			
70			
80			
90			

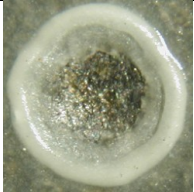
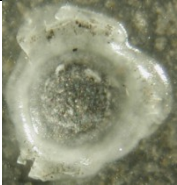
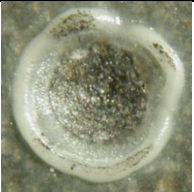
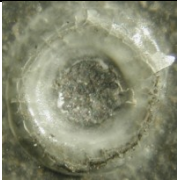
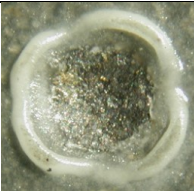
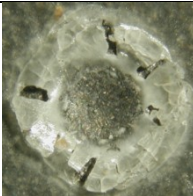
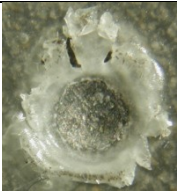

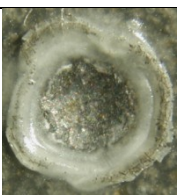
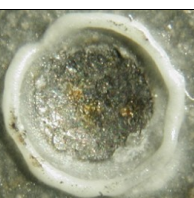
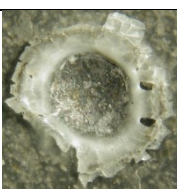
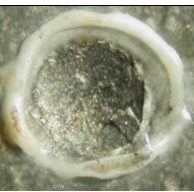
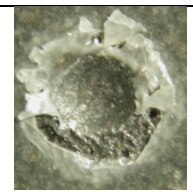
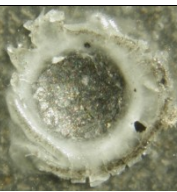
Tabulka 13 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 9 - 80°C, 90 min

Síla [N]	VZ 9 – 80°C, 90 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			
30			
40			

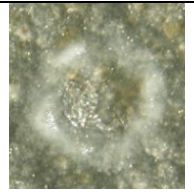
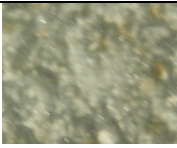


50			
60			
70			
80			
90			

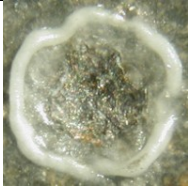
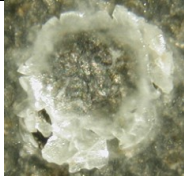
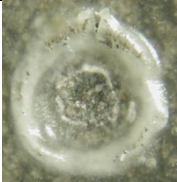

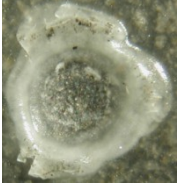
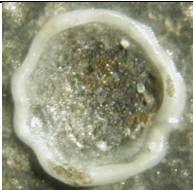
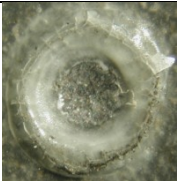

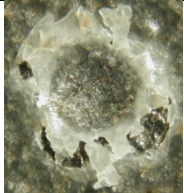
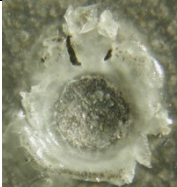
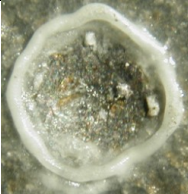
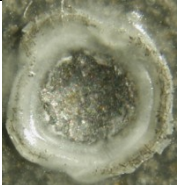

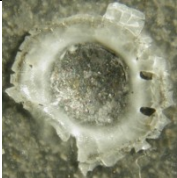
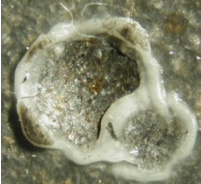

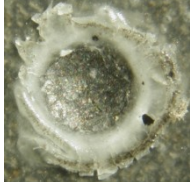
Tabulka 14 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 10 - 100°C, 30 min

Síla [N]	VZ 10 – 100°C, 30 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			
30			

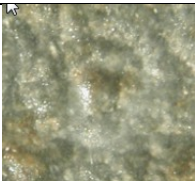

40			
50			
60			
70			
80			
90			

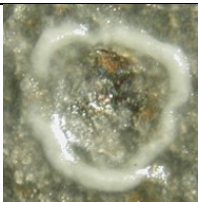
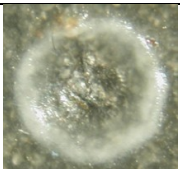
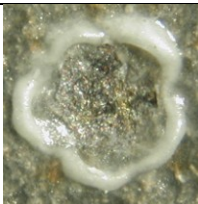
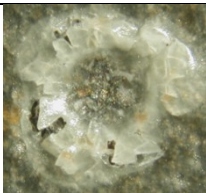
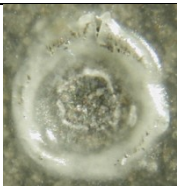
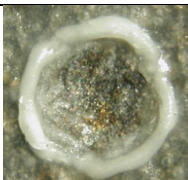
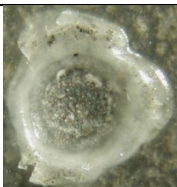
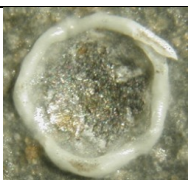
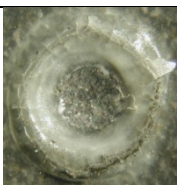
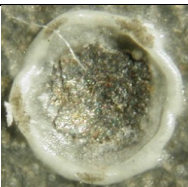
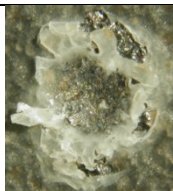
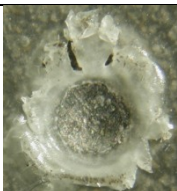
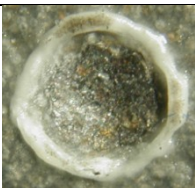
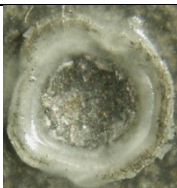
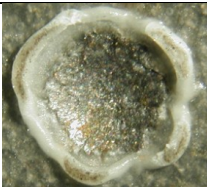
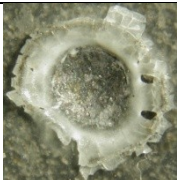
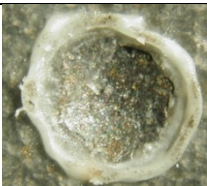
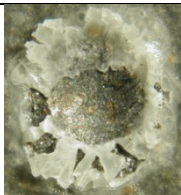
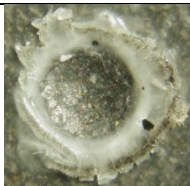
Tabulka 15 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 11 - 100°C, 60 min

Síla [N]	VZ 11 – 100°C, 60 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			

30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			



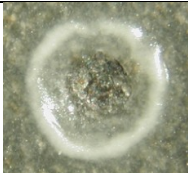
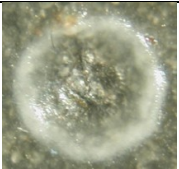

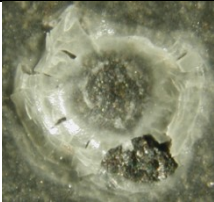
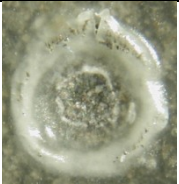
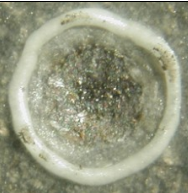
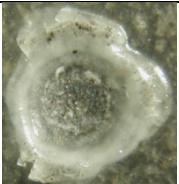
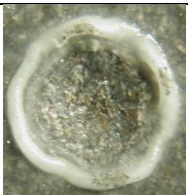
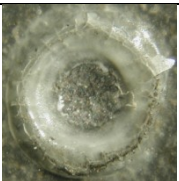
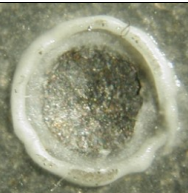

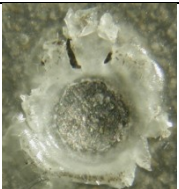

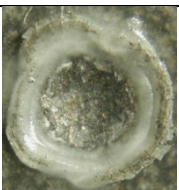
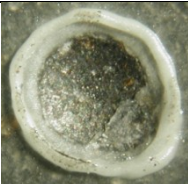
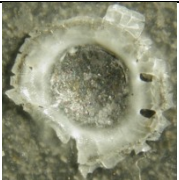


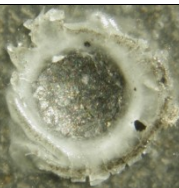
Tabulka 16 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 12 - 100°C, 90 min

Síla [N]	VZ 12 – 100°C, 90 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			



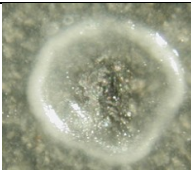
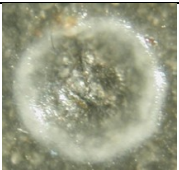

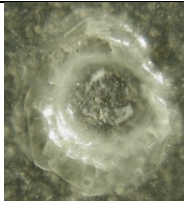
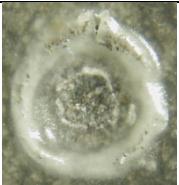
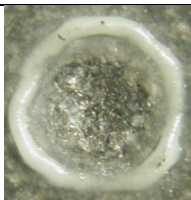
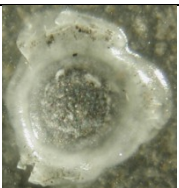

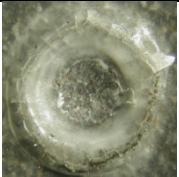
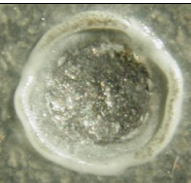

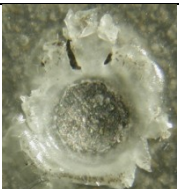
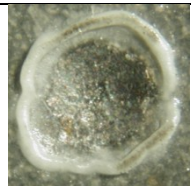
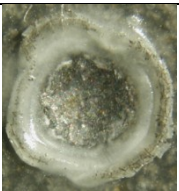
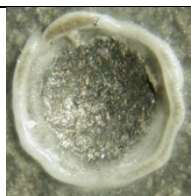
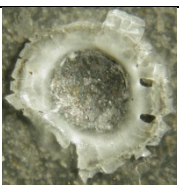
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			

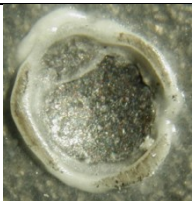
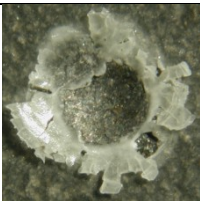
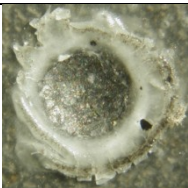
Tabulka 17 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 13 - 120°C, 30 min

Síla [N]	VZ 13 – 120°C, 30 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
----------	-----------------------	----------------	-------------------

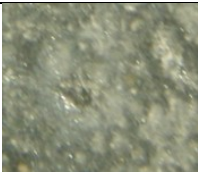

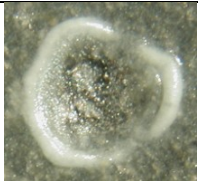
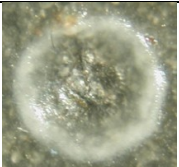
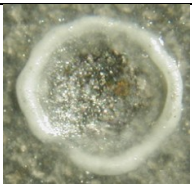

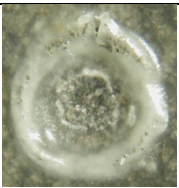
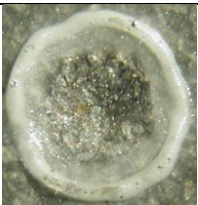
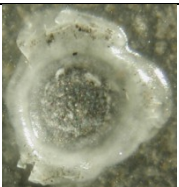
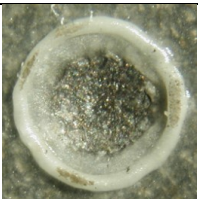
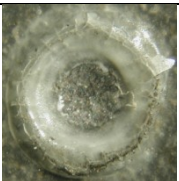
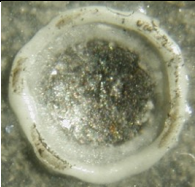
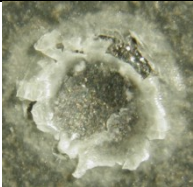
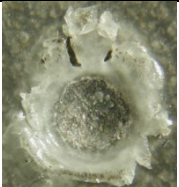
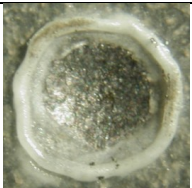
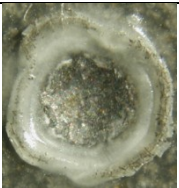
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			

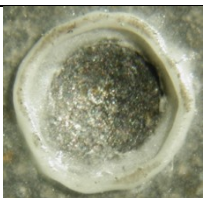
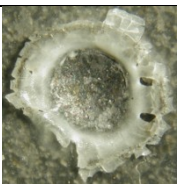
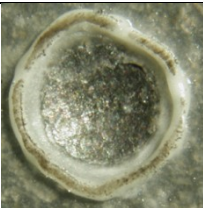
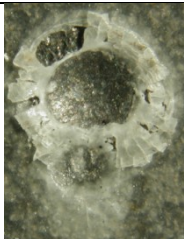
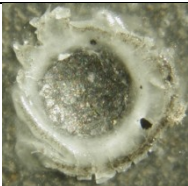
Tabulka 18 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 14 - 120°C, 60 min

Síla [N]	VZ 14 – 120°C, 60 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			

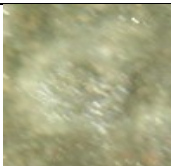

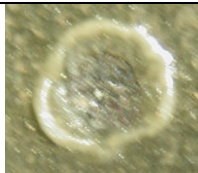
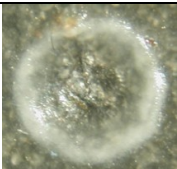
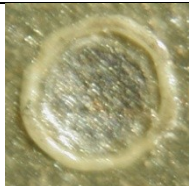

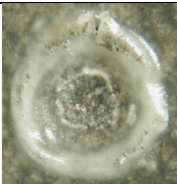
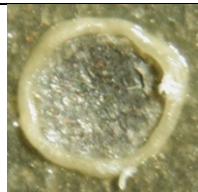
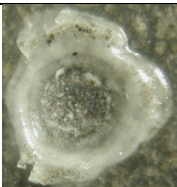
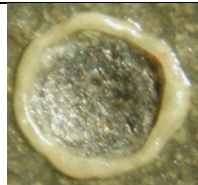
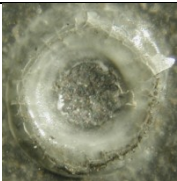
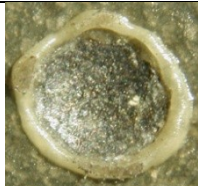
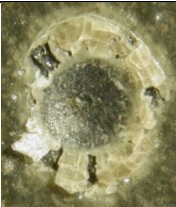
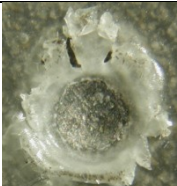
90			
----	---	--	---

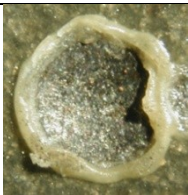
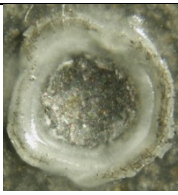

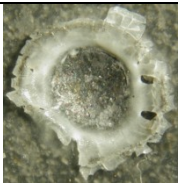
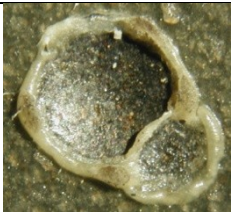
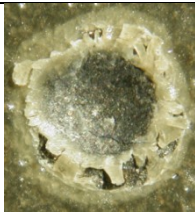
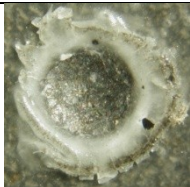
Tabulka 19 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 15 - 120°C, 90 min

Síla [N]	VZ 15 – 120°C, 90 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			

80			
90			

Tabulka 20 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 5 - 200°C, 30 min

Síla [N]	VZ 5 – 200°C, 30 min	Po vychladnutí	VZ 8 – referenční
10			
20			
30			
40			
50			
60			

70			
80			
90			

Vyhodnocení

Předposlední fází experimentu bylo zkoušení tepelné odolnosti a odolnosti proti mechanickému poškození. To bylo provedeno tak, že se vzorky vystavily vysoké teplotě v peci po určitou dobu. Ihned po vytažení byly provedeny nástřely postupně od 10 N až do 90 N. Jelikož neexistuje norma na vyhodnocení poškození nástřelem pro tento druh povlaků, bylo vyhodnocení provedeno pouze srovnáním s nástřely na referenčním vzorku a s kontrolními nástřely na zkoumaném vzorku, ale až po vychladnutí. Toto porovnání bylo provedeno pomocí fotografií pořízených na mikroskopu při desetinásobném zvětšení.






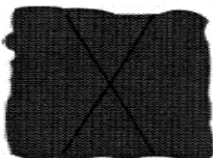
Vzorky vykazovali velmi dobrou odolnost oproti mechanickému namáhání, což přisuzují tomu, že povlak byl změkklý ihned po expozici zvýšené teplotě v peci. Nedochovalo tedy k žádnému praskání povlaku. Při nástřelování po vychladnutí již docházelo k praskání povlaku, stejně jako u referenčního vzorku, který nebyl vystaven zvýšené teplotě. Nutno však říci, že popraskání bylo po zařazeném tepelném zatížení mnohem větší.

Na závěr experimentu bylo testováno extrémní namáhání v podobě velmi vysoké teploty 200°C po dobu 30 minut. Po takovémto zatížení byl nátěrový systém spálený, ale stejně jako u všech ostatních vzorků, nedocházelo k praskání nátěru při nástřelování ihned po vytažení z pece. Při provádění kontrolních nástřelů na vychladlém vzorku však bylo popraskání velmi značné.

6.4 ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI METODOU KŘÍŽOVÉHO ŘEZU

Po vystavení vzorků zvýšené teplotě a odzkoušení mechanické odolnosti byly vzorky nechány vychladnout. Po vychladnutí byla zkoušena přilnavost metodou křížového řezu dle ČSN EN ISO 16276-2. Na všech vzorcích byly vytvořeny dva řezy. Každý řez by měl být dle normy asi 40 mm dlouhý a tyto řezy by měli svírat úhel $30^\circ - 45^\circ$. Následně byla na tyto řezy nalepena normalizovaná, lepicí páska o délce asi 10 cm, která byla na řez řádně přitlačena a potom odtržena pod úhlem 60° . Výsledky byly vyhodnoceny porovnáním poškození s normou ČSN EN ISO 16276-2 vyobrazené v následující tabulce. [18]

Tabulka 21 - Klasifikace výsledků metody křížového řezu [18]

 <p>Stupeň 0 Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.</p>	 <p>Stupeň 1 Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.</p>
 <p>Stupeň 2 Roztřípené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.</p>	 <p>Stupeň 3 Roztřípené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.</p>
 <p>Stupeň 4 Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.</p>	 <p>Stupeň 5 Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.</p>

V následující tabulce jsou zaznamenány podmínky, za kterých byly prováděny zkoušky přilnavosti. Tyto hodnoty byly naměřeny pomocí přístroje Elcometer 319.

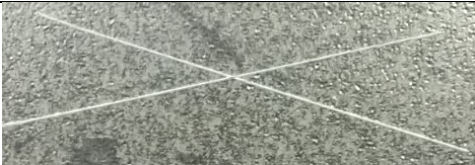
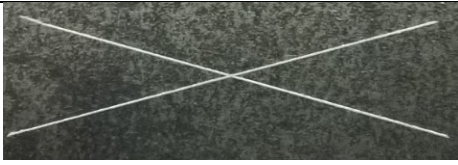

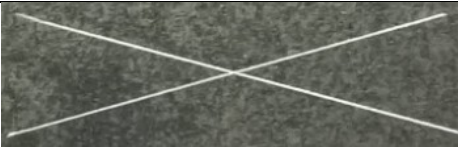

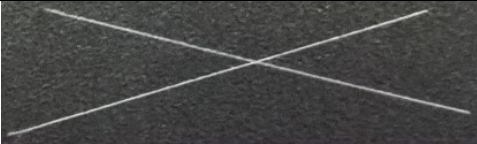
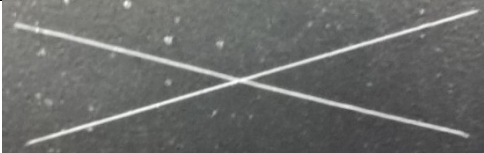

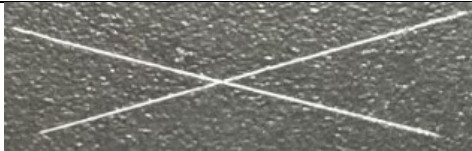
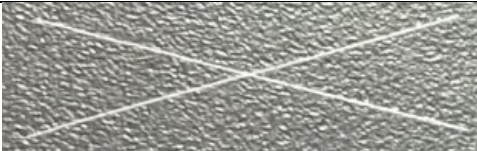
Tabulka 22 - Podmínky při provádění křížového řezu

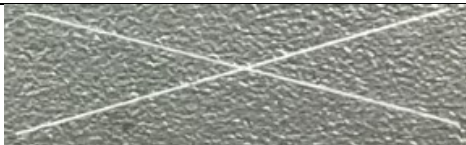
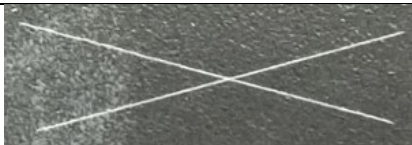
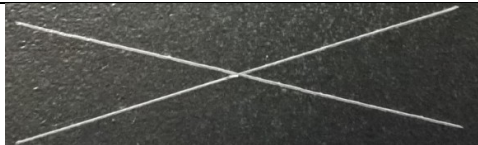


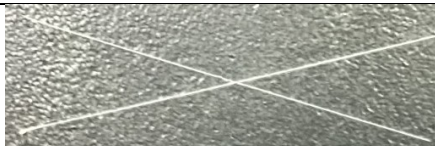
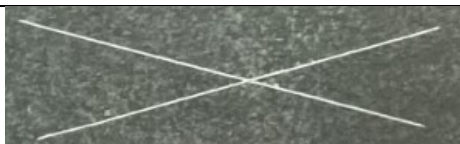
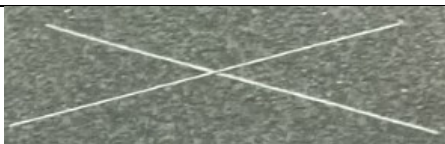
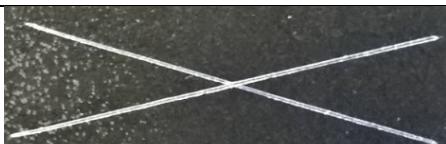

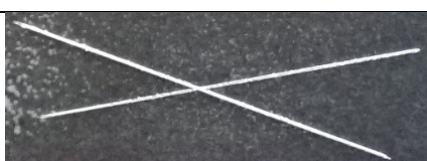
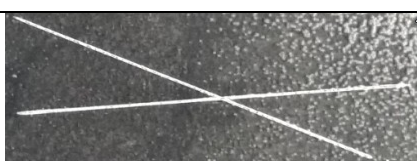
Vzorek	T_p [$^\circ\text{C}$]	T_v [$^\circ\text{C}$]	R_v [%]	R_b [$^\circ\text{C}$]	ΔT [$^\circ\text{C}$]
6	23,4	22,1	45,8	8,8	14,6
7	23,6	21,5	41,5	7,9	15,7
9	22,5	20,2	43,6	7,4	15,1
10	23,3	23,3	48,1	11	12,3

11	24,8	23,3	42,5	10	13,3
12	24	23,2	42,2	9,8	14,2
13	23,3	22,5	46,8	10,7	12,6
14	22,9	22,5	45,7	9,6	13,5
15	23,7	22,6	45,8	10,6	13,1
5	24,8	22,6	39,9	9,0	15,8
8	21,8	21,7	40,6	7,9	13,9

V následující tabulce jsou vyhodnoceny jednotlivé zkoušky přilnavosti pro jednotlivé vzorky také s fotografiemi jednotlivých řezů.

Tabulka 23 - vyhodnocení zkoušek přilnavosti

Vzorek	Řez 1 + stupeň poškození	Řez 2 + stupeň poškození
6	 <p>St. Poškození 0</p>	 <p>St. Poškození 0</p>
7	 <p>St. Poškození 0</p>	 <p>St. Poškození 0</p>
9	 <p>St. Poškození 0</p>	 <p>St. Poškození 0</p>
10	 <p>St. Poškození 0</p>	 <p>St. Poškození 0</p>
11	 <p>St. Poškození 0</p>	 <p>St. Poškození 0</p>

12		
	St. Poškození 0	St. Poškození 0
13		
	St. Poškození 0	St. Poškození 0
14		
	St. Poškození 0	St. Poškození 0
15		
	St. Poškození 0	St. Poškození 0
5		
	St. Poškození 0	St. Poškození 0
8		
	St. Poškození 0	St. Poškození 0

Všechny výsledky byly vyhodnoceny jako stupeň poškození 0, tedy žádné poškození.

Vyhodnocení

Poslední fází experimentální části bylo vyhodnocení přilnavosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 16276-2 a to metodou křížového řezu. Přilnavost byla zkoušena na všech vzorcích, které byly vystaveny nějakému tepelnému zatížení, nehledě na to jak vysoká byla teplota nebo délka expozice. Tyto zkoušky byly provedeny až po vychladnutí vzorků. Na každém vzorku byly provedeny dvě zkoušky přilnavosti křížovým řezem. Všechny vzorky vykazovaly velmi dobrou přilnavost a nedošlo k žádnému

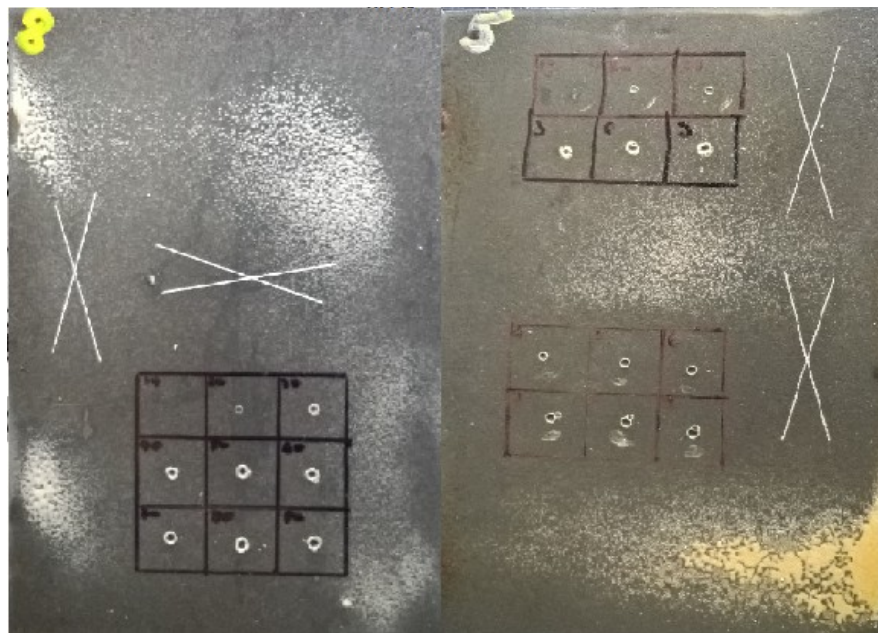
poškození nátěrového systému odtržením pásy, ani u vzorků které byly vystaveny poměrně vysokému tepelnému zatížení. Výsledky i s fotodokumentací jsou zpracovány v tabulce 22 v předchozí kapitole 6.4.

Tabulka 24 - Výsledné poškození zkouškami křížovým řezem

Vzorek	St. poškození řez 1	St. poškození řez 2
6	0	0
7	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
5	0	0
8	0	0

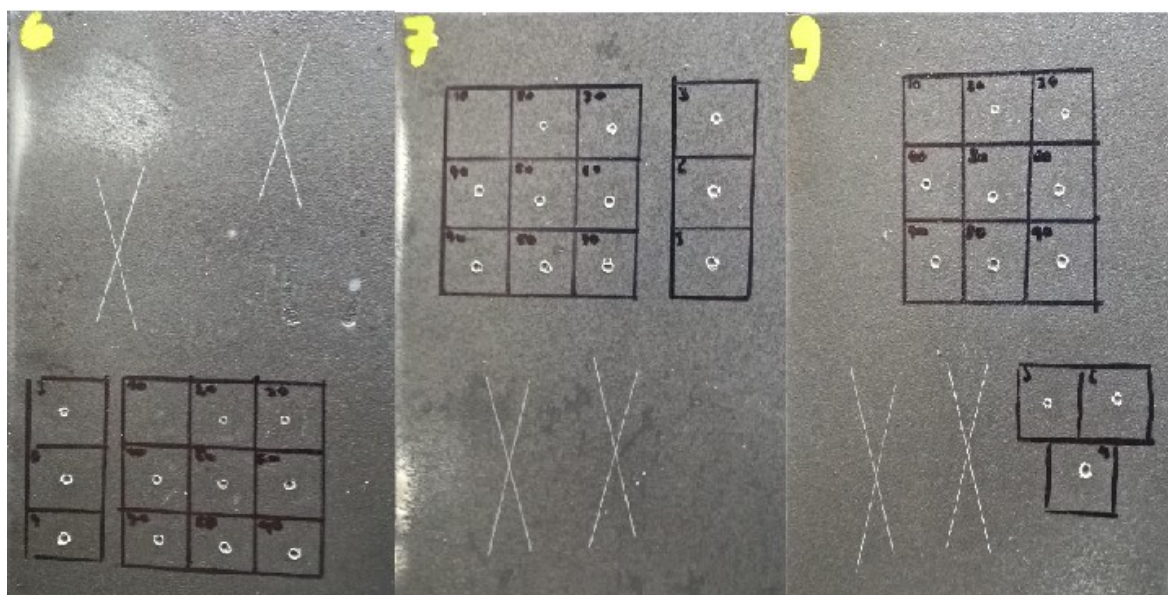
FOTODOKUMENTACE

Vzorky 8 (referenční) a 5 (extrémní zatížení 200°C):



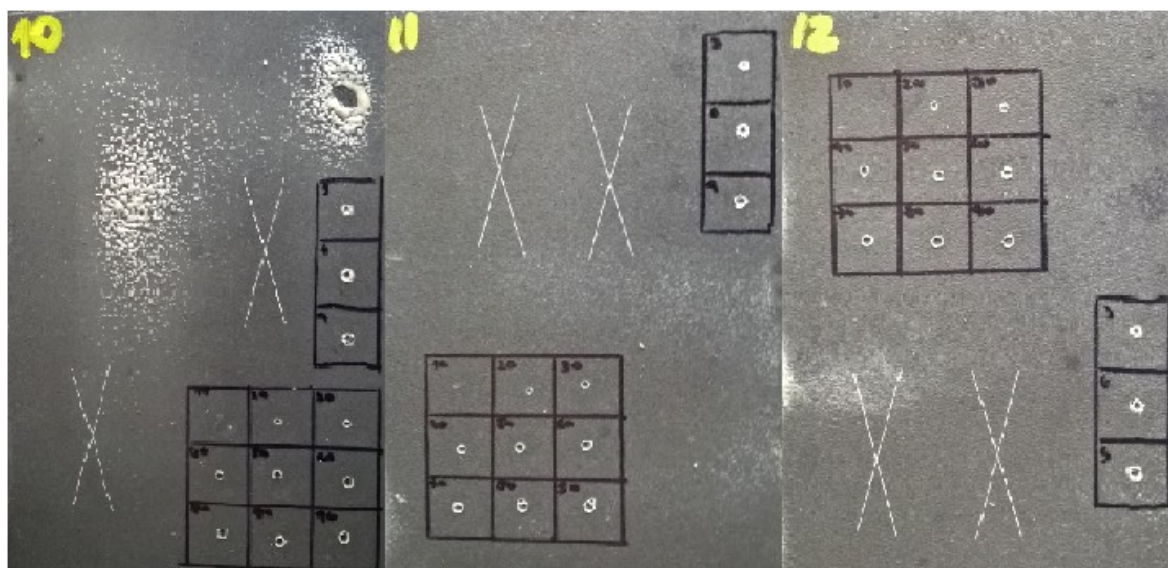
Obr. 31 - Vzorek 8 a 5

Vzorky vystavené teplotě 80°C:



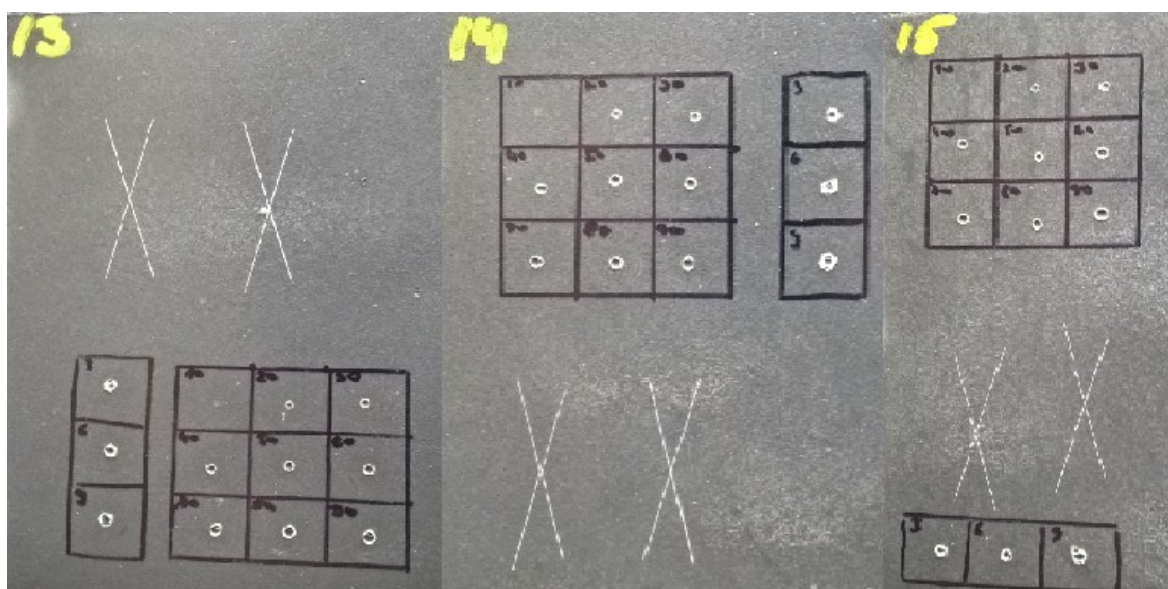
Obr. 32 - Vzorky 6, 7, a 9

Vzorky vystavené teplotě 100°C:



Obr. 33 - Vzorky 10, 11 a 12

Vzorky vystavené teplotě 120°C:



Obr. 34 - Vzorky 13, 14 a 15

ZÁVĚR

V první části se práce věnuje povrchu a jeho vlastnostem a také způsobu poškození povrchu materiálu, které nějak souvisí s mechanickým namáháním. Další část byla věnována úpravám povrchu před aplikací nátěrového systému. Tato kapitola byla rozčleněna do dvou částí, úpravy mechanické a chemické. V části o chemických úpravách povrchů hovořím hlavně o odmašťování, protože odmašťování bylo zařazeno i v experimentální části. Třetí část je věnována organickým povlakům a jejich složení. Dále tato část pokračuje vysvětlením, jak se označují organické povlaky a jejich rozdělení podle základní složky. V závěru této části je v krátkosti pojednáno o nanotechnologiích a nanopovlacích.

V druhé části jsou popsány experimentální práce a způsoby, jakými byly prováděny. V první fázi experimentu byly vzorky odmaštěny. Ještě před odmaštěním byla na jednom vzorku změřena drsnost povrchu pro porovnání s naměřenými hodnotami po odmaštění. Tyto hodnoty jsou na konci práce porovnány v grafech, ze kterých vyplývá, že drsnost po odmaštění byla nižší. Následně byl aplikován nátěr metodou pneumatického stříkání při tlaku 0,25 MPa a průměr trysky stříkácí pistole byl 1,3 mm. Snažili jsme se dodržet předepsanou mokrou tloušťku nátěrového systému mezi 150 μm a 200 μm . Následně byla měřena suchá tloušťka nátěrového systému přístrojem Elcometer 456. Z výsledků těchto měření vyplývá, že místy byla přesáhnuta mokrá tloušťka nátěru, protože hodnoty byly vyšší než hodnoty, které by odpovídali doporučené tloušťce dle procentuální vysychavosti nátěrového systému. Dále byla zkoumána odolnost proti mechanickému a tepelnému namáhání. Tyto experimenty byly prováděny tak, že vzorky byly vystaveny zvýšeným teplotám 80°C, 100°C a 120°C. Na všech třech teplotách byly vzorky po dobu 30 min, 60 min, a 90 min. Nakonec byla testována odolnost extrémním podmínkám a to 200°C. Na této teplotě nemělo smysl nechávat vzorek déle než 30 min, protože již po 30 minutách bylo poškození velmi vysoké. Odolnost proti mechanickému poškození byla zkoumána formou nástřelování do nátěrového systému postupně od 10 N až do 90 N ihned po vytažení z pece. Po vychladnutí vzorky byly nástřelovány silami 30 N, 60 N a 90 N pro porovnání poškození po nástřelech za tepla. To stejné bylo provedeno také na jednom referenčním vzorku, který nebyl vystaven zvýšené teplotě. Vyhodnocení mechanického poškození bylo provedeno porovnáním poškození po nástřelech za tepla, po vychladnutí a na referenčním vzorku. Porovnávány byly fotografie pořízené pod mikroskopem při desetinásobném zvětšení. Lze říci, že po vystavení zvýšené teplotě nebylo poškození příliš velké, protože nátěr byl měkký a nedocházelo k jeho praskání vlivem nástřelu. Odolnost

proti tepelnému namáhání byla vyhodnocována také pomocí zkoušek přilnavosti metodou křížového řezu. Na každém vzorku vystavenému zvýšené teplotě byly provedeny dva křížové řezy. Výsledek všech zkoušek metodou křížového řezu byl stupeň poškození 0, tedy žádné poškození. Velmi dobrou přilnavost přisuzuji hlavně tomu, že bylo před aplikací nátěru zařazeno odmašťování.

Dle mého názoru měl tento experiment smysl hlavně proto, že většinou bývá předmětem zkoumání ochrana proti korozi. Ochrana proti mechanickému poškození a tepelné odolnosti je však neméně důležitá.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Povrchy a jejich úpravy*. [online]. [vid. 2017-4-8]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [2] PODJUKLOVÁ, Jitka: *Speciální technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1994. 71 s. ISBN 80 – 7078 – 235 – 8.
- [3] MOHYLA, Miroslav: *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [4] *Koroze kovů*. [online]. [vid. 2017-4-10]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>
- [5] *NACE INTERNATIONAL*. [online] © Copyright NACE International. All rights reserved. [vid. 2017-4-10] Dostupné z: <https://www.nace.org/Corrosion-Central/Corrosion-101>
- [6] *Poškození strojních součástí*. [online]. [vid. 2017-04-18]. Dostupné z: http://tf.czu.cz/~pexa/Budejovice/Prednasky/P-Poskozeni_stroju.pdf
- [7] *Opotřebení strojních soustav a vznik poruch*. [online]. [vid. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/183598-4-opotrebeni-strojnich-soustav-a-vznik-poruch.html>
- [8] ČSN ISO 8501-1 Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zrezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků. Praha: Český normalizační institut, Listopad 2007. 15 s
- [9] *IKB Slévárna Písečná, s.r.o.* [online]. [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://abrasivesweb.webmium.com/>
- [10] *Sand system*. [online]. Copyright © 2017 SandSystem, s.r.o. [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://e-pisky.cz/kremicity-pisek-prirodni/128-prirodni-kremicity-pisek-14-20-mm.html>
- [11] *ABRANOVA s.r.o.* [online]. [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://abranova-eshop.cz/uvod/>
- [12] *Ochrana kovů proti korozi*. [online]. [vid. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ochrana-kovu-proti-korozi.html>
- [13] ŘEZANKA, Pavel; ZÁRUBA, Kamil; KRÁL, Vladimír: *Potenciál modifikovaných nanočástic v analytické chemii*. [online]. [vid. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_11_881-885.pdf
- [14] *Nanočástice*. [online]. [vid. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>

- [15] DOBROVODSKÁ, Lenka; PODJUKLOVÁ, Jitka; HRABOVSKÁ, Kamila; MENŠÍKOV, VIKTOROVIČ, Vladimír: *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*. [online]. [vid. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.nanocon.eu/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/089.pdf
- [16] *Nanotechnologie a nanomateriály pro dopravu*. [online]. [vid. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/132>
- [17] HANÁK, M. *Vliv čistoty kovového substrátu na korozní odolnost nanopovlaku*. Ostrava 2016, 147 s., Fakulta strojní, VŠB – TU Ostrava, Disertační práce. Vedoucí disertační práce Podjuklová, J.
- [18] ČSN EN ISO 16276-2 Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez. Praha: Český normalizační institut, Leden 2008. 16 s
- [19] Patent číslo: RU 2 441 044 C1 - Ochranný nano-inhibitorový lak

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Schéma sil působících na atom [1]	11
Obr. 2 - příklady rekonstrukce povrchu [1].....	11
Obr. 3 - Schéma chemisorpce a), a fyzikální adsorpce b) [1]	12
Obr. 4 - a) chemisorpce, b) inkorporace, c) absorpce	13
Obr. 5 - a) VW mechanismus, b) FM mechanismus, c) SK mechanismus [1].....	13
Obr. 6 - profil povrchu [1].....	15
Obr. 7 - a) interkrystalické, b) transkrystalické korozní praskání [4]	18
Obr. 8 - Korozní únava [5]	19
Obr. 9 - Vibrační koroze [5].....	20
Obr. 10 - Schéma adhezivního porušování povrchů dle Fenga [1].....	21
Obr. 11 - adhezivní poškození (vlevo), vibrační poškození (vpravo) [6]	22
Obr. 12 – schéma oddělování materiálu a – tříška, b – nárůstek, c – val [1]	22
Obr. 13 - projevy dopadu částice a) šikmo, b) rovnoběžně, c) kolmo na povrch	23
Obr. 14 - a) abrazivní poškození, erozivní poškození [6]	24
Obr. 15 - únavový lom	24
Obr. 16 - poškození kavitací [7].....	25
Obr. 17 - litinový granulát [9]	28
Obr. 18 - litinová drť [9]	28
Obr. 19 - křemičitý písek frakce 1,4-2,0 mm [10]	28
Obr. 20 - bílý korund A99 s 99% obsahem Al_2O_3 [11]	29
Obr. 21 - Sekaný ocelový drát [11]	29
Obr. 22 - Balotina o velikosti zrna 300-600 μm [11].....	30
Obr. 23 - a) plastové abrazivo, b) drcené ořechové skořápky [11]	30
Obr. 24 - přístroj pro měření pH	44
Obr.25 - Měření drsnosti	45
Obr. 26 - Mitutoyo Surf test – 301	45
Obr. 27 - zubová měrka.....	48
Obr. 28 – měřicí přístroje pro měření a) okolních podmínek, b) suché tl. nátěru	49
Obr. 29 - nástroj na nastřelování povlaku dle Wegnera.....	51
Obr. 30 - Schéma zkušebního nástroje dle Wegnera	51
Obr. 31 - Vzorek 8 a 5	68
Obr. 32 - Vzorky 6, 7, a 9.....	68
Obr. 33 - Vzorky 10, 11 a 12.....	69

Obr. 34 - Vzorky 13, 14 a 15.....	69
-----------------------------------	----

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Standardní elektrodové potenciály některých kovů [1]	16
Tabulka 2 - Dělení nátěrových hmot [1]	37
Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti vzorků	43
Tabulka 4 - Chemické složení vzorků.....	43
Tabulka 5 - výsledky měření drsnosti povrchu vzorků před odmaštěním	44
Tabulka 6 - výsledky měření drsnosti povrchu vzorků po odmaštění.....	45
Tabulka 7 - srovnání výsledků naměřených drsností	46
Tabulka 8 - podmínky při aplikaci nátěrového systému	48
Tabulka 9 - výsledky měření tloušťky suchého nátěru	49
Tabulka 10 - označení vzorků a jejich zatížení	51
Tabulka 11 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 6 - 80°C, 30 min	52
Tabulka 12 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 7 - 80°C, 60 min	53
Tabulka 13 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 9 - 80°C, 90 min	54
Tabulka 14 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 10 - 100°C, 30 min	55
Tabulka 15 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 11 - 100°C, 60 min	56
Tabulka 16 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 12 - 100°C, 90 min	57
Tabulka 17 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 13 - 120°C, 30 min	58
Tabulka 18 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 14 - 120°C, 60 min	60
Tabulka 19 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 15 - 120°C, 90 min	61
Tabulka 20 - srovnání výsledků nástřelů pro vzorek 5 - 200°C, 30 min	62
Tabulka 21 - Klasifikace výsledků metody křížového řezu [18]	64
Tabulka 22 - Podmínky při provádění křížového řezu.....	64
Tabulka 23 - vyhodnocení zkoušek přilnavosti.....	65
Tabulka 24 - Výsledné poškození zkouškami křížovým řezem.....	67

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - srovnání Ra před a po odmaštění.....	46
Graf 2 - Srovnání Rz před a po odmaštění	47

Poděkování

Na závěr své práce bych chtěl poděkovat Ing. Renému Sistrzonkovi Ph.D za věnovaný čas a pomoc při experimentálních pracích.

Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za odborné vedení a cenné rady.

Nemohu opomenout poděkovat mojí rodině za podporu a trpělivost při mém studiu.